

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y NUTRIMENTALES  
EN ESPECIES ARBUSTIVAS FORRAJERAS NATIVAS DE LA FLORA  
DEL NORESTE DE MÉXICO**

**Por**

**M.C. JOSÉ ISIDRO UVALLE SAUCEDA**

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
**DOCTOR EN CIENCIAS**  
con Especialidad en Alimentos.

Julio, 2008

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y NUTRIMENTALES**  
**EN ESPECIES ARBUSTIVAS FORRAJERAS NATIVAS DE LA FLORA**  
**DEL NORESTE DE MÉXICO**

Comité de Tesis

---

Ph.D. ROQUE GONZALO RAMÍREZ LOZANO  
Director

---

Ph.D. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ  
Co-Director

---

Ph.D. ISRAEL CANTÚ SILVA  
Asesor

---

Ph.D. MARCO VINICIO GÓMEZ MEZA  
Asesor

---

Dra. MARIA ADRIANA NÚÑEZ GONZÁLEZ  
Asesor

---

Dra. GRACIELA GARCÍA DÍAZ  
Asesor

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y NUTRIMENTALES**  
**EN ESPECIES ARBUSTIVAS FORRAJERAS NATIVAS DE LA FLORA**  
**DEL NORESTE DE MÉXICO**

Comité Académico de Doctorado

---

---

---

---

---

---

Subdirector de Estudios de Posgrado

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por darme la oportunidad de crecer académicamente y por la formación recibida.

Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por todo el apoyo brindado para la realización de los análisis de laboratorio, especialmente el Laboratorio de Química y de Suelos y Nutrición de Bosques.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo económico brindado y hacer posible la realización de este estudio (Proyecto PAICYT CN905-04 y CN133-05).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Doctorado.

Al Dr. Roque G. Ramírez por brindar sus conocimientos, por su asesoría, por su invaluable apoyo en la dirección de esta tesis y por brindarme su amistad y haberme apoyado en todo momento.

Al Dr. Humberto González Rodríguez por aportar sus conocimientos en forma desinteresada para la realización de este estudio, por sus consejos y el haber aportado gran parte de su tiempo y de sus recursos para llevar a cabo el trabajo de campo y el proceso de datos, por facilitarme desinteresadamente su equipo de trabajo y por brindarme su amistad.

Al Dr. Israel Cantú Silva por sus consejos, su entusiasmo y dedicación a la revisión del escrito, por su apoyo y sobre todo su amistad.

Al Dr. Marco Vinicio Gómez Mesa por el tiempo dedicado al análisis de datos, revisión del escrito y por su amistad.

A la Dra. Maria Adriana Núñez González por su tiempo, por brindarme su apoyo, por sus consejos, por la revisión de tesis y sugerencias para mejorar esta tesis.

A la Dra. Graciela García Díaz González por brindar su tiempo a este trabajo, por su apoyo, por sus consejos y por la revisión de tesis.

En el trabajo de campo y de laboratorio intervino gente muy valiosa que contribuyo con su experiencia y con su trabajo en la colecta de material y en el proceso en laboratorio, gracias al personal técnico y trabajadores de campo de la Facultad de Ciencias Forestales: Inés Yáñez, Elsa González, Elizabeth Barba, Ascensión García, Alfredo Ortega, Manuel Hernández, Joel Bravo, Leonel Resendíz, Juan A. López, Cesar

J. Uribe. A todos ellos les reitero mi agradecimiento por brindarme siempre su apoyo, pero sobre todo por su amistad.

Finalmente quiero agradecer a mis compañeros de trabajo de la Facultad de Ciencias Forestales, al personal docente, administrativo, trabajadores de campo y laboratoristas en especial a los integrantes del Departamento Agroforestal por apoyarme en todo momento hasta concluir esta investigación, mil gracias por su apoyo y por su amistad, siempre les estaré agradecido, su amigo José Uvalle.

## **DEDICATORIA**

A LA MEMORIA DE MI HERMANO JULIÁN (Q. E. P. D.).

A MI ESPOSA: NINFA POR SU APOYO EN TODO MOMENTO, POR SU AMOR Y SU  
COMPRENSIÓN.

A MIS HIJOS: JOHAN, JULIANA, JHOSELINE Y JHONATAN, POR SU PACIENCIA Y POR SU  
TERNURA, MI FUENTE DE INSPIRACIÓN PARA SEGUIR ADELANTE.

A MIS PADRES IGNACIA E ISIDRO, POR ESTAR SIEMPRE AL PENDIENTE DE ESTE SU HIJO Y  
POR SU ESFUERZO PARA LOGRAR MI FORMACIÓN.

A MIS HERMANOS: MARY, FRANCISCO Y JORGE

## TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
1 RESUMEN Y ABSTRACT	1
2 INTRODUCCIÓN	5
2.1 Hipótesis	7
2.2 Objetivos	8
3 ANTECEDENTES	10
3.1 Vegetación del área de estudio	10
3.2 Definición del término forraje	12
3.3 Clases de plantas forrajeras	13
3.4 Pigmentos vegetales	14
3.5 Absorción de la luz: clorofila	16
3.6 Los carotenoides	19
3.7 Los pigmentos y la fotosíntesis	20
3.8 El agua, el nitrógeno y su relación con los pigmentos fotosintéticos	22
3.9 Función de protección de los pigmentos en las plantas	23
3.10 Propiedades ópticas	24
3.11 Los pigmentos y su relación con la producción de materia seca	26
3.12 Importancia de los árboles y arbustos en la alimentación animal	27
3.13 Uso múltiple de algunas especies arbustivas en México	35
3.14 Arbustos y árboles como fuente de nutrientes	39
3.15 El Ramoneo como fuente de energía	42
3.16 Proteína en el forraje de árboles y arbustos	44
3.17 Consumo y digestibilidad <i>in vivo</i>	46
3.18 Las arbustivas como fuentes de nitrógeno	49



<b>Sección</b>	<b>Página</b>
3.19 Las arbustivas en el comportamiento animal	49
3.20 Taninos condensados en las arbustivas	52
3.21 Relaciones hídricas	53
<b>4 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>57</b>
4.1 Descripción del área de estudio	57
4.2 Composición y estructura de la vegetación	58
4.2.1 Estimación del índice de valor de importancia (IVI)	61
4.2.2 Estimación de la diversidad de especies	62
4.2.3 Estimación de índices de diversidad de especies	63
4.2.4 Estimación de índices de riqueza de especies	64
4.3 Pigmentos vegetales	66
4.4 Contenido mineral	68
4.5 Relaciones hídricas	68
4.6 Análisis estadístico	69
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>71</b>
5.1 Composición y estructura de la vegetación	71
5.1.2 Índice de Shannon-Wiener	79
5.2 Pigmentos vegetales	82
5.3 Contenido mineral	91
5.3.1 Calcio	91
5.3.2 Magnesio	91
5.3.3 Potasio	94
5.3.4 Fósforo	99
5.3.5 Nitrógeno	99
5.3.6 Cobre	104
5.3.7 Manganeso	107
5.3.8 Hierro	107
5.3.9 Zinc	112

<b>Sección</b>	<b>Página</b>
5.3.10 Cenizas	112
5.4 Relaciones Hídricas	117
5.4.1 Potenciales hídricos de las especies vegetales en Los Ramones	117
5.4.2 Potenciales hídricos de las especies vegetales en Linares	120
6. DISCUSIÓN	124
6.1 Composición y estructura de la vegetación	124
6.2 Pigmentos vegetales	126
6.3 Contenido mineral	132
6.3.1 Calcio	132
6.3.2 Magnesio	133
6.3.3 Potasio	134
6.3.4 Fósforo	135
6.3.5 Nitrógeno	137
6.3.6 Cobre	138
6.3.7 Manganeseo	139
6.3.8 Fierro	140
6.3.9 Zinc	141
6.3.10 Cenizas	143
6.4 Relaciones hídricas	143
7 CONCLUSIONES	147
8 LITERATURA CITADA	150

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Hábitos alimenticios de venado cola blanca y ganado bovino	34
2	Composición botánica de la dieta de las cabras en diferentes regiones	36
3	Ecuaciones de regresión simple, coeficientes de correlación ( $r$ ) y variación entre la digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca y el contenido nutricional del forraje de árboles y arbustos	45
4	Promedios estacionales de la temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) y precipitación (mm) en tres sitios de estudio en el noreste de México	59
5	Familias y sus respectivas especies encontradas en los tres sitios de muestreo	73
6	Especies identificadas en los tres sitios de estudio	74
7	Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas en el sitio Los Ramones	76
8	Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas en el sitio de China	77
9	Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas en el sitio de Linares	80
10	Valores calculados de los índices de riqueza para los sitios de estudio	81
11	Valores del cuadrado medio calculado del análisis estadístico correspondiente a los datos colectados entre verano 2004 y primavera 2006 de once especies de plantas del noreste de México	84
12	Contenido estacional ( $\text{mg g}^{-1}$ pf) de clorofila <i>a</i> en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once árboles y arbustos nativos	85
13	Contenido estacional de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> y carotenoides en los sitios de Los Ramones, China y Linares entre árboles y arbustos	87

	nativos pertenecientes a la familia Fabaceae y no Fabaceae	
14	Contenido estacional de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> y carotenoides en los sitios de Los Ramones, China y Linares entre especies de plantas nativas agrupadas como arbustivas y arbóreas	88
15	Contenido estacional ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ pf) de clorofila <i>b</i> en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	89
16	Contenido estacional ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ pf) de carotenoides en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	90
17	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de Ca en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	92
18	Contenido estacional ( $\text{g kg}^{-1}$ base seca) de Ca en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	93
19	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de Mg en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	95
20	Contenido estacional ( $\text{g kg}^{-1}$ base seca) de Mg en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	96
21	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de K en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	97
22	Contenido estacional ( $\text{g kg}^{-1}$ base seca) de K en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	98
23	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de P en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	100
24	Contenido estacional ( $\text{g kg}^{-1}$ base seca) de P en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	101
25	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de N en	102

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
	once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	
26	Contenido estacional de N (% base seca) en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	103
27	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de Cu en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	105
28	Contenido estacional (mg kg <sup>-1</sup> base seca) de Cu en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	106
29	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de Mn en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	108
30	Contenido estacional (mg kg <sup>-1</sup> base seca) de Mn en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	109
31	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de Fe en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	110
32	Contenido estacional (mg kg <sup>-1</sup> base seca) de Fe en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	111
33	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de Zn en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	113
34	Contenido estacional (mg kg <sup>-1</sup> base seca) de Zn en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	114
35	Valores de F y nivel de significancia (Valor <i>P</i> ) del contenido de cenizas en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006	115
36	Contenido estacional de Cenizas (% base seca) en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once arbustos y árboles nativos	116

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
37 Resultados del análisis de varianza para detectar diferencias significativas en el $\Psi_{pd}$ y $\Psi_{md}$ en diez especies vegetales del matorral espinoso tamaulipeco bajo condiciones de sequía (15.40% CGHS) y de suficiente humedad (15.40% CGHS) en el sitio de Los Ramones	118
38 Potenciales hídricos al pre-amanecer ( $\Psi_{pd}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ) en diez especies vegetales observados bajo condiciones de sequía (15.40% CGHS) y de suficiente humedad (15.40% CGHS) determinados 15 de julio y 5 de agosto de 2005, respectivamente, para el sitio de los Ramones, Nuevo León	119
39 Resultados del análisis de varianza para detectar diferencias significativas en el $\Psi_{pd}$ y $\Psi_{md}$ en diez especies vegetales del matorral espinoso tamaulipeco bajo condiciones de sequía (15.4% CGHS) y suficiente humedad disponible (28.8% CGHS) en el sitio de Linares, Nuevo León	121
40 Potenciales hídricos al pre-amanecer ( $\Psi_{pd}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ) en diez especies vegetales observados bajo condiciones de sequía (15.4% CGHS) y de suficiente humedad (28.8% CGHS) determinados el 14 de julio y 4 de agosto de 2005, respectivamente, en el sitio de Linares, Nuevo	122

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Estructura de la clorofila	18
2	Localización del área de estudio	60
3	Relación entre el contenido de carotenoides y la clorofila <b>a</b> de la hoja para todas las muestras de tejido en 11 árboles y arbustos nativos en cuatro estaciones de muestreo y dos años consecutivos	130

## **RESUMEN CURRICULAR**

José Isidro Uvalle Saucedá

Candidato para el Grado de

Doctor en Ciencias con Especialidad en Alimentos.

Tesis: CARACTERÍSTICAS NUTRIMENTALES Y BROMATOLÓGICAS DE ESPECIES ARBUSTIVAS CON APTITUD FORRAJERA EN EL NORESTE DE MÉXICO.

Campo de Estudio: Ciencias Forestales

Datos Personales: Nacido en Linares, Nuevo León, el 23 de Febrero de 1967, hijo de Isidro Uvalle Martínez y M<sup>a</sup>. Ignacia Saucedá Hernández. Casado con Ninfa Dolores Zamarripa Rodríguez.

Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León en la Facultad de Ciencias Forestales. Grado obtenido Ingeniero Forestal en 1988. Posgrado Maestría en Ciencias Forestales en 2001.

Experiencia Profesional:

Personal de apoyo a la investigación en el Dpto. Agroforestal. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León de Enero 1987- Agosto 2001.

Profesor de Tiempo Completo Asociado A en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León de Agosto del 2001 a la fecha.

Coordinador del Departamento Agroforestal, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León: Mayo de 2005 – Mayo de 2007.

Participación como co-asesor de 9 Tesis de Licenciatura y 6 de Maestría.

Participación en 3 artículos publicados en revistas indexadas y 2 con arbitraje.



## **CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL DE ARBUSTIVAS FORRAJERAS NATIVAS EN EL NORESTE DE MÉXICO.**

**José I. Uvalle-Sauceda<sup>1</sup>, Humberto González-Rodríguez<sup>1</sup>, Roque G. Ramírez-Lozano<sup>2</sup>, Israel Cantú-Silva<sup>1</sup>, Marco V. Gómez-Meza<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León,  
Linares, Nuevo León, México.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L., Monterrey, Nuevo León, México.

<sup>3</sup> Facultad de Economía, U.A.N.L., Monterrey, Nuevo León, México.

Carretera Nacional Km 145. Linares, Nuevo León, México. Apdo. Postal 41. CP 67700.

Tel. y Fax: (821) 212-4251.

e-mail: [juvalles@fcf.uanl.mx](mailto:juvalles@fcf.uanl.mx)

### **RESUMEN**

Aun cuando se han realizado avances en los estudios florísticos en los diferentes tipos de vegetación de Nuevo León, aun no se ha determinado el potencial productivo y el aporte de minerales de muchas especies arbustivas nativas existentes en las extensas áreas de Matorral Espinoso Tamaulipeco en el Noreste de México. Por este motivo surge la necesidad de realizar estudios encaminados a conocer cual es el aporte nutricional de dichas especies, con el fin de utilizarlos para la alimentación de ganado doméstico y de fauna silvestre de la región.

El primer paso en este estudio consistió en seleccionar tres sitios de estudio, los cuales representan un gradiente climático en el noreste de México; en los cuales se ubicaron tres transectos, identificando en ellos once especies arbustivas de importancia forrajera para determinar la concentración de macro (Ca, P, Mg, K y N) y micro (Cu, Fe, Mn y Zn) nutrimentos en forma estacional.

De acuerdo al análisis de la varianza (ANOVA) para los datos obtenidos sobre la concentración de nutrimentos minerales se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) para los sitios de muestreo, las estaciones del año y para la interacción sitio\*estación. En general, para los tres sitios evaluados, se observó una tendencia, en la cual se aprecia en forma clara una disminución en la concentración de nutrimentos minerales de la estación de verano a la de invierno y un aumento significativo de invierno a primavera. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que de los parámetros más relacionados al cambio en la concentración de macro y micro nutrimentos en las especies vegetales son las estaciones de muestreo, siendo estas las que marcaron principalmente dichas diferencias de concentración. Estas variaciones en los nutrimentos reportados en este trabajo puede ser resultado de las variaciones climáticas tan marcadas para esta región del noreste de México.

## INTRODUCCIÓN

El estado de Nuevo León la distribución del clima y suelo no es uniforme; la distribución irregular de la precipitación y temperatura en el estado ha ocasionado que a lo largo del tiempo se hubiesen formado varios tipos de vegetación. La amplia diversidad de plantas nativas del estado de Nuevo León con un potencial forrajero es un ejemplo típico de una gran plasticidad en la respuesta a factores físico-químicos extremos. En particular, muchos árboles y arbustos de especies leguminosas del matorral son utilizadas como alimento para el ganado dado que permanecen verdes y con un contenido relativamente alto de proteína cruda a lo largo del año (Reed *et al.*, 1990 citado por Ramírez, 2003). Sin embargo la degradación causado por el sobrepastoreo y el desarrollo agrícola, entre otras causas, han afectado estos ecosistemas (Manzano *et al.*, 2000), provocando que esta comunidad vegetal disminuya su extensión en favor de terrenos agrícolas y praderas sembradas (Heiseke y Foroughbakhch, 1985, Foroughbakhch y Peñalosa, 1988). La mayoría de esas plantas proporciona hábitat para la vida silvestre y cobertura para prevenir la erosión (González y Cantú, 2001). El ramoneo de las especies forrajeras de la región representa una importante fuente de alimento para el ganado doméstico y la fauna silvestre especialmente durante la estación de sequía; ya que estas especies permanecen verdes durante la estación seca. Las especies forrajeras nativas, forman la base de la dieta en la región del noreste, contribuyendo a enriquecer la oferta nutricional de diferentes especies de ganado doméstico y de fauna silvestre como el venado cola blanca. Por este motivo es importante estudiar los cambios que ocurren en el valor nutritivo, y disponibilidad de especies forrajeras durante el año; cambios que suelen estar ligados principalmente a los cambios de precipitación y temperatura (Moya, 2002), como ocurre en el noreste de México. El objetivo de este trabajo fue determinar los efectos estacionales en las variaciones en la concentración de minerales durante un año de muestreo en once especies arbustivas que crecen en esta región. La hipótesis fue que existen diferencias significativas en la plasticidad fisiológica en once especies de importancia forrajera causando diferencias en las concentraciones de minerales considerando los efectos espaciales (Localidades) y temporales (estaciones del año).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Sitios de Estudio*

El estudio fue realizado en tres municipios del estado de Nuevo León. El primer sitio se localiza en el rancho “El Abuelo” en Los Ramones (25° 40' 21" N; 99° 27' 59.9" W; la elevación es de 200 msnm). El clima es típicamente semi-árido con verano muy cálido. La temperatura media anual del aire es de 22 °C. La precipitación media anual es de 700 mm. El segundo sitio se localiza en el “Rancho Zaragoza” en el municipio de China (25° 31' 15.3"N y 99° 16' 51.6" W; la elevación es de 200 msnm). El clima es típicamente seco y muy calido a través del año. El promedio de precipitación total anual esta en el rango de los 400 a 600 mm con la temperatura media del aire mayor que 22

°C. El tercer sitio se localiza en Campus Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado en el municipio de Linares, Nuevo León (24° 47' N; 99° 32' W; con una elevación de 350 msnm) localizado a 8 km al sur de la ciudad de Linares. El clima es típicamente subtropical y semiárido con el verano cálido. El promedio mensual de la temperatura del aire es de 14.7 °C en enero a 22.3 °C in Agosto, aunque la temperatura diaria alta de 45°C son comunes durante el verano. El promedio anual de precipitación es de 805 mm con una distribución bimodal. Par los tres sitios de estudio, los meses que presentan picos de precipitación son mayo, junio y septiembre. El principal tipo de vegetación es conocido como el Matorral Tamaulipeco o Bosque de matorral Subtropical (SPP-INEGI, 1986). Los suelos dominantes son vertisoles profundos de color gris-oscuro los cuales se contraen y se hinchan notablemente en respuesta a los cambios de humedad en el suelo.

### ***Colecta de Material Botánico***

Para cumplir con los objetivos propuestos, fueron elegidas once especies arbustivas forrajeras nativas de la vegetación de la región del noreste de México (Vines, 1984; Reid et al., 1990). Dichas especies fueron: *Croton cortesianus* Kunt. (Euphorbiaceae; shrub), *Leucophyllum frutescens* Berl. (Scrophulariaceae; shrub), *Karwinskia humboldtiana* Roem et Schult. (Rhamnaceae; shrub), *Acacia rigidula* Benth. (Fabaceae, shrub), *Bumelia celastrina* H. B. K. (Sapotaceae; tree), *Prosopis laevigata* (Willd) M.C. Johnst. (Fabaceae; tree), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae; shrub), *Zanthoxylum fagara* L. (Rutaceae; tree), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae; tree), *Lantana macropoda* Torr. (Verbenaceae; shrub), and *Castela texana* Torr & Gray. (Simaroubaceae; shrub). Estos arbustos y árboles, los cuales fueron encontrados en los tres sitios de estudio, y cuentan con potencial agroforestal y silvopastoril los cuales son ramoneados por ganado doméstico y fauna silvestre que se encuentra en esta región, y proporcionan combustible de alta calidad, así como madera para cercas y para la construcción, y son ampliamente distribuidos en combinación con otras especies.

### ***Procedimiento de Muestreo***

Las determinaciones de la concentración de minerales del tejido foliar de las once especies de plantas fueron colectadas durante días representativos de cuatro estaciones consecutivas (agosto 2004 – Mayo 2005). Durante este periodo, se realizaron cuatro muestreos (Agosto 28, 2004 (verano 04); Noviembre 28, 2004 (otoño, 04); Febrero 28, 2005 (invierno, 05); Mayo 28, 2005 (primavera, 05). La colecta de material se realizo en tres transectos establecidos en cada sitio de muestreo; en cada uno de ellos se colectó el material suficiente para realizar el análisis en laboratorio (hojas y ramillas) de diferentes individuos de cada especie vegetal; dicho material fue colectado en bolsas de papel y transportado a laboratorio en donde fue secado a temperatura ambiente. Posteriormente el material fue mezclado y molido en un molino provisto de una malla con poros de 2mm de diámetro, hecho esto se colocó en recipientes de plástico para su análisis posterior. Se tomaron tres repeticiones por especie y en cada estación para cada sitio para llevar a cabo las determinaciones de la concentración de nutrimentos.

### **Análisis de Nutrimentos Vegetales**

La determinación de nutrimentos minerales (Ca, P, Mg, K, Cu, Fe, Mn, y Zn; expresados en moles-gramos de peso seco ( $\text{gps}^{-1}$ )) en tejido foliar de cada especie seleccionada y muestreada a lo largo del periodo experimental se realizó de acuerdo a técnicas analíticas de digestión descritas en AOAC (1990). La determinación de P se llevó a cabo por colorimetría (Espectrofotómetro Perkin Elmer, Lambda 1) (AOAC, 1990) mientras que la de Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn, y Zn se realizaon a través de absorción atómica (Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Varian, modelo 200A) (AOAC, 1990).

### **Análisis Estadístico**

Para detectar las diferencias significativas de las estaciones del año (4), especies vegetales (11) y las interacciones de cada sitio de estudio (3), se hizo un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias múltiples (procedimiento *w* de Tukey) para comparar los efectos principales y sus interacciones correspondientes fueron realizados de acuerdo a los procedimientos descritos por Steel y Torrie (1980). Estos análisis y procedimientos estadísticos fueron realizados usando el paquete SPSS 9.0 (Statistical Package for the Social Sciences, standard released version 9.0 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL.)

## **RESULTADOS**

### **Micronutrimentos**

En lo que se refiere al contenido de micronutrimentos (Cu, Mn, Fe y Zn), en las especies vegetales durante las estaciones del año se encontraron diferencias significativas en su concentración en la mayoría de los análisis realizados (tabla 1). Para el caso del Cu, en todas las especies se detectaron diferencias, excepto *Leucophyllum frutescens*. En las localidades, en 5 especies no se encontraron diferencias estas son: *Croton cortesianus*, *Lantana macropoda*, *Karwinskia humboldtiana*, *Acacia rigidula* y *Leucophyllum frutescens*. En lo que se refiere a Mn en ambos factores (localidades y estaciones) en todas las especies se encontraron diferencias excepto en *Karwinskia humboldtiana*. Para el elemento Fe en nueve especies se determinaron diferencias ( $p < 0.001$ ), y en dos *Karwinskia humboldtiana* y *Castela texana* al ( $p < 0.01$ ). En las localidades *Karwinskia humboldtiana*, *Zanthoxylum fagara*, *Castela texana* y *Leucophyllum frutescens* no presentaron diferencias. Para el Zn en todas las especies vegetales durante las estaciones del año se detectaron diferencias ( $p < 0.001$ ). Sin embargo para las localidades fueron cuatro especies en las que no se detectaron; estas especies fueron: *Croton cortesianus*, *Bumelia celastrina*, *Celtis pallida* y *Castela texana*.

### **Macronutrimentos**

En la tabla 1 se puede observar que son las estaciones de muestreo las que marcaron principalmente las diferencias de concentración de nutrimentos. En las especies vegetales durante las estaciones del año se encontraron diferencias significativas en la

concentración del contenido de los macronutrientes (Ca, Mg, K y P) evaluados ( $p < 0.001$ ); excepto que para el caso de *Forestiera angustifolia* y *Leucophyllum frutescens* que fue  $p < 0.05$ , para K y P respectivamente (Tabla 1). En tanto las localidades fue menos variable; encontrándose que para Ca en *Croton cortesianus* y *Karwinskia humboldtiana* no se presentaron diferencias. Para Mg se encontraron diferencias para *Lantana macropoda*, *Acacia rigidula*, *Forestiera angustifolia* y *Leucophyllum frutescens*; en el resto de las especies no se encontraron diferencias para este elemento. Con K ocurrió algo similar y solo en *Acacia rigidula* y *Bumelia celastrina* se detectaron diferencias ( $p < 0.05$ ). Finalmente en P las diferencias se encontraron en seis especies las cuales fueron: *Croton cortesianus*, *Lantana macropoda*, *Acacia rigidula*, *Zanthoxylum fagara* ( $p < 0.001$ ) y *Prosopis laevigata* y *Castela texana* ( $p < 0.05$ ).

En general, para los tres sitios evaluados, se observó una tendencia, en la cual se aprecia en forma clara una disminución en la concentración de nutrientes minerales de la estación de verano a la de otoño, continuando disminuyendo hacia la de invierno y tener un aumento significativo de invierno a primavera.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que de los parámetros más relacionados al cambio en la concentración de macro y micro nutrientes en las especies vegetales son las estaciones de muestreo, siendo estas las que marcaron principalmente dichas diferencias de concentración. Estas variaciones en los nutrientes reportados en este trabajo puede ser resultado de las variaciones climáticas tan marcadas para esta región del noreste de México.

Tabla 1. Resumen del ANDEVA para los Micro y Macronutrientes de las 11 Especies Vegetales utilizadas en este estudio.

Micro nutrientes								
Cobre								
Especie Vegetal	Promedio	Valor de F			Valor de P			R <sup>2</sup>
		L	E	L*E	L	E	L*E	
<i>Crco</i>	0.110	1.801	7.561	0.599	0.187	0.001	0.728	0.555
<i>Lama</i>	0.121	1.215	10.414	2.174	0.314	0.000	0.081	0.661
<i>Kahu</i>	0.065	1.02	21.915	3.749	0.376	0.000	0.009	0.79
<i>Acri</i>	0.079	0.642	6.974	1.126	0.535	0.002	0.377	0.547
<i>Buce</i>	0.095	7.266	26.269	2.951	0.003	0.000	0.027	0.822
<i>Prla</i>	0.140	33.551	48.375	17.397	0.000	0.000	0.000	0.93
<i>Cepa</i>	0.078	17.011	111.74	12.601	0.000	0.000	0.000	0.949
<i>Zafa</i>	0.120	8.51	8.066	1.895	0.002	0.001	0.123	0.687
<i>Foan</i>	0.071	7.224	16.253	4.276	0.003	0.000	0.005	0.787
<i>Cate</i>	0.135	6.38	32.717	2.79	0.006	0.000	0.033	0.842
<i>Lefr</i>	0.085	0.918	2.415	1.139	0.413	0.091	0.37	0.399
Manganeso								
<i>Crco</i>	0.726	163.792	122.877	18.894	0.000	0.000	0.000	0.971
<i>Lama</i>	0.352	13.261	108.448	1.666	0.000	0.000	0.173	0.938
<i>Kahu</i>	0.273	2.474	8.212	2.084	0.105	0.001	0.093	0.637
<i>Acri</i>	0.305	36.812	191.307	12.019	0.000	0.000	0.000	0.968
<i>Buce</i>	0.360	35.580	15.207	2.250	0.000	0.000	0.073	0.844
<i>Prla</i>	0.471	42.261	105.748	8.724	0.000	0.000	0.000	0.950
<i>Cepa</i>	0.498	39.181	142.836	5.508	0.000	0.000	0.001	0.957
<i>Zafa</i>	0.567	26.412	21.113	2.169	0.000	0.000	0.082	0.843
<i>Foan</i>	0.617	99.420	104.203	31.808	0.000	0.000	0.000	0.967
<i>Cate</i>	0.411	19.955	44.320	2.494	0.000	0.000	0.051	0.887
<i>Lefr</i>	0.410	88.292	113.768	15.210	0.000	0.000	0.000	0.962
Fierro								
<i>Crco</i>	1.685	9.677	17.771	1.172	0.001	0.000	0.354	0.769
<i>Lama</i>	2.745	426.039	197.622	31.614	0.000	0.000	0.000	0.986
<i>Kahu</i>	1.056	2.419	4.732	0.543	0.110	0.010	0.770	0.482
<i>Acri</i>	0.983	28.118	71.943	1.128	0.000	0.000	0.376	0.921
<i>Buce</i>	0.925	10.708	29.582	0.690	0.000	0.000	0.660	0.826
<i>Prla</i>	1.132	13.879	46.883	3.419	0.000	0.000	0.014	0.887
<i>Cepa</i>	1.477	35.912	77.345	31.805	0.000	0.000	0.000	0.954
<i>Zafa</i>	1.129	2.425	6.236	0.542	0.110	0.003	0.771	0.528
<i>Foan</i>	1.137	14.348	9.764	13.954	0.000	0.000	0.000	0.855
<i>Cate</i>	2.410	2.984	4.523	1.354	0.070	0.012	0.273	0.535
<i>Lefr</i>	1.076	0.001	20.369	6.727	0.999	0.000	0.000	0.809
Zinc								
<i>Crco</i>	0.529	0.008	239.693	3.293	0.992	0.000	0.017	0.969
<i>Lama</i>	0.579	91.289	924.773	81.453	0.000	0.000	0.000	0.993
<i>Kahu</i>	0.474	31.815	388.994	38.063	0.000	0.000	0.000	0.984
<i>Acri</i>	0.405	8.890	742.667	7.037	0.001	0.000	0.000	0.990
<i>Buce</i>	0.370	3.155	760.453	5.462	0.061	0.000	0.001	0.990
<i>Prla</i>	0.835	14.190	775.749	6.612	0.000	0.000	0.000	0.989
<i>Cepa</i>	0.396	4.376	693.093	6.203	0.024	0.000	0.000	0.955
<i>Zafa</i>	0.376	6.613	151.080	7.803	0.005	0.000	0.000	0.919
<i>Foan</i>	0.637	8.056	79.341	3.751	0.002	0.000	0.009	0.920
<i>Cate</i>	0.477	0.168	29.034	12.385	0.846	0.000	0.000	0.871
<i>Lefr</i>	0.341	8.156	70.870	21.027	0.002	0.000	0.000	0.937

Macro nutrientes								
Calcio								
Especie Vegetal	Promedio	Valor de F			Valor de P			R <sup>2</sup>
		L	E	L*E	L	E	L*E	
<i>Crco</i>	740.471	0.933	29.618	1.993	0.407	0.000	0.106	0.811
<i>Lama</i>	409.736	6.814	17.176	7.850	0.005	0.000	0.000	0.824
<i>Kahu</i>	983.949	1.108	11.791	5.274	0.347	0.000	0.001	0.743
<i>Acri</i>	583.283	13.618	46.270	13.401	0.000	0.000	0.000	0.911
<i>Buce</i>	799.582	15.705	54.456	10.962	0.000	0.000	0.000	0.916
<i>Prla</i>	534.008	5.350	87.715	23.251	0.012	0.000	0.000	0.945
<i>Cepa</i>	2106.875	8.884	33.240	9.560	0.001	0.000	0.000	0.879
<i>Zafa</i>	843.036	24.572	24.670	12.484	0.000	0.000	0.000	0.892
<i>Foan</i>	613.114	7.272	49.761	14.584	0.003	0.000	0.000	0.913
<i>Cate</i>	1276.043	4.713	11.777	3.456	0.019	0.000	0.013	0.732
<i>Lefr</i>	880.186	5.685	24.735	9.923	0.010	0.000	0.000	0.858
Magnesio								
<i>Crco</i>	265.859	0.064	62.522	5.202	0.938	0.000	0.001	0.901
<i>Lama</i>	175.449	12.591	73.630	4.707	0.000	0.000	0.003	0.920
<i>Kahu</i>	115.705	0.179	5.770	1.345	0.837	0.004	0.277	0.517
<i>Acri</i>	87.363	14.301	58.437	11.402	0.000	0.000	0.000	0.919
<i>Buce</i>	208.175	0.151	53.670	0.388	0.860	0.000	0.879	0.872
<i>Prla</i>	143.248	2.563	113.476	15.106	0.098	0.000	0.000	0.948
<i>Cepa</i>	399.618	0.968	10.306	0.089	0.394	0.000	0.997	0.582
<i>Zafa</i>	167.700	0.596	21.509	0.299	0.559	0.000	0.932	0.738
<i>Foan</i>	171.834	9.848	105.320	7.767	0.001	0.000	0.000	0.941
<i>Cate</i>	212.241	1.332	27.457	1.688	0.283	0.000	0.167	0.799
<i>Lefr</i>	186.239	23.202	90.617	4.323	0.000	0.000	0.004	0.935
Potasio								
<i>Crco</i>	1164.926	0.937	21.390	3.112	0.406	0.000	0.021	0.779
<i>Lama</i>	862.505	0.031	5.977	5.732	0.969	0.003	0.001	0.686
<i>Kahu</i>	776.865	1.979	5.116	0.448	0.160	0.007	0.839	0.478
<i>Acri</i>	570.574	4.045	11.395	17.951	0.031	0.000	0.000	0.862
<i>Buce</i>	583.359	3.279	9.080	4.517	0.055	0.000	0.003	0.717
<i>Prla</i>	832.339	0.363	16.185	3.516	0.699	0.000	0.012	0.746
<i>Cepa</i>	847.374	2.955	16.037	2.314	0.071	0.000	0.066	0.739
<i>Zafa</i>	844.910	0.123	14.909	5.007	0.885	0.000	0.002	0.758
<i>Foan</i>	787.544	1.864	3.908	1.187	0.177	0.021	0.346	0.485
<i>Cate</i>	993.505	2.006	10.939	3.924	0.156	0.000	0.007	0.716
<i>Lefr</i>	519.637	2.582	5.967	3.696	0.096	0.003	0.010	0.653
Fósforo								
<i>Crco</i>	41.979	12.881	45.073	13.015	0.000	0.000	0.000	0.909
<i>Lama</i>	33.262	15.825	15.635	18.223	0.000	0.000	0.000	0.887
<i>Kahu</i>	34.497	1.261	5.664	2.131	0.302	0.004	0.087	0.574
<i>Acri</i>	37.847	7.672	46.001	3.864	0.003	0.000	0.008	0.880
<i>Buce</i>	28.772	1.727	12.943	4.620	0.199	0.000	0.003	0.745
<i>Prla</i>	44.924	4.092	112.626	2.820	0.030	0.000	0.032	0.938
<i>Cepa</i>	37.118	0.516	69.713	15.608	0.603	0.000	0.000	0.927
<i>Zafa</i>	33.933	10.235	19.503	23.560	0.001	0.000	0.000	0.902
<i>Foan</i>	33.881	0.734	154.468	10.941	0.491	0.000	0.000	0.957
<i>Cate</i>	35.789	3.375	46.500	13.901	0.051	0.000	0.000	0.905
<i>Lefr</i>	25.464	1.703	3.321	17.001	0.203	0.037	0.000	0.828

*Crco* = *Croton cortesianus*  
*Buce* = *Bumelia celastrina*

*Lama* = *Lantana macropoda*  
*Prla* = *Prosopis laevigata*

*Kahu* = *Karwinskia humboldtiana*  
*Cepa* = *Celtis pallida*

*Acri* = *Acacia rigidula*  
*Zafa* = *Zanthoxylum fagara*



Foan = *Forestiera angustifolia*  
L = Localidad de muestreo

Cate = *Castela texana*  
E = Estación de muestreo

Lefr = *Leucophyllum frutescens*

## BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Ramírez, O.R. 2003. Dinámica estacional del valor nutritivo y digestión ruminal del forraje de 10 arbustivas de Baja California Sur, México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. UANL. pp. 1-199.
- Heiseke, D., Foroughbakhch, R. 1985. El Matorral como recurso Forestal. Reporte Científico No. 1, Facultad de Silvicultura y Manejo de Rec. Renovables., Linares, N.L., México, 1-31 p.
- Foroughbakhch, R., Peñaloza R. (1988). Introducción de 10 especies forestales en el matorral del noreste de México. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Rep. Científico No. 8, 1-33. Linares, N. L., México.
- Moya, R. J.G. 2002. Variación estacional del perfil nutritivo y digestibilidad *in situ* de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro, del follaje de ocho especies arbustivas del noreste de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. UANL. pp. 128.
- González, R.H., Cantú, S.I. 2001. Drought adaptation in native woody species with silvopastoral potencial in Northeastern Mexico. In: International Symposium on Silvopastoral Systems. Second Congress on Agroforestry and livestock production in Latin America. Theme: Silvopastoral systems for restoration of degraded tropical pasture ecosystems. San José, Costa Rica. April 2-9, 2001. Pags. 228-232.
- Vines, R.A. 1984. Trees of central Texas. Austin: University of Texas Press.
- Reid, N., Marroquín, J., Beyer-Münzel, P. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. Forest Ecology and Management. 36, 61-79.
- SPP-INEGI. 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., 1980. Principles and procedures of statistics. A Biometrical Approach, 2<sup>nd</sup> Ed. McGraw-Hill, New York, NY. 632 pp.
- SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) software package (standard released version 9.0 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL.).
- Manzano, M. G.; J. Navar; M. Pando and A. Martínez. 2000. Overgrazing and desertification in Northern Mexico: highlights on northeastern region. Annals of Arid Zone 39(3): 285-304.



Tropentag 2007  
University of Kassel-Witzenhausen and  
University of Göttingen, October 9-11, 2007

Conference on International Agricultural Research for Development

---

**Seasonal Trends of Chlorophylls a and b and Carotenoids<sub>(x + c)</sub> in Native Trees and Shrubs of Northeastern Mexico**

J.I. Uvalle Saucedo<sup>a</sup>, H. González Rodríguez<sup>a</sup>, R.G. Ramírez Lozano<sup>b</sup>, I. Cantú Silva<sup>a</sup>, M.V. Gómez Meza<sup>c</sup>

- a Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Apartado Postal 41, Linares, NL 67700 México. E-mail: [joseuvalle@yahoo.com](mailto:joseuvalle@yahoo.com); [humberto@fcf.uanl.mx](mailto:humberto@fcf.uanl.mx); [icantu@fcf.uanl.mx](mailto:icantu@fcf.uanl.mx)
- b Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad Economía, Loma Redonda 1515 Pte., Col. Loma Larga, Monterrey, NL 64710 México. E-mail: [mvgomez@faeco.uanl.mx](mailto:mvgomez@faeco.uanl.mx)
- c Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Apartado Postal 142, Sucursal F, San Nicolás de los Garza, NL 66451 México. E-mail: [roqramir@fcb.uanl.mx](mailto:roqramir@fcb.uanl.mx)

**Abstract**

*During two consecutive years, the content of chlorophylls **a** and **b** and carotenoids<sub>(x + c)</sub> was determined, seasonally, in foliar tissue of native trees (T) and shrubs (S) from northeastern Mexico such as *Acacia rigidula* (S), *Bumelia celastrina* (T), *Castela texana* (S), *Celtis pallida* (S), *Croton cortesianus* (S), *Forestiera angustifolia* (S), *Karwinskia humboldtiana* (S), *Lantana macropoda* (S), *Leucophyllum frutescens* (S), *Prosopis laevigata* (T), *Zanthoxylum fagara* (T). Pigment determinations were carried out in a region of the state of Nuevo Leon, Mexico at three county (Los Ramones, China, Linares) sites, which are grouped under a similar climatic pattern. Measurements were quantified spectrophotometrically. With exception of the interaction year\*plant of carotenoids content at Los Ramones site, all pigments were significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons. All plants had marginal higher chlorophyll **a** content at Linares (overall mean = 0.79 mg g<sup>-1</sup> fw) than China (0.71) or Los Ramones (0.66) site. Chlorophyll **b** content followed a similar trend as chlorophyll **a** (0.29, 0.25 and 0.23, respectively). Marginal differences in carotenoids content, in all plants, were found among sites being the overall mean of 0.2 mg carotenoids g<sup>-1</sup> fw. Yearly and seasonal variations in plant pigments might have been related to seasonal water deficits, excessive irradiance levels during summer and extreme low temperatures in winter that could have affected leaf development and senescence.*

**Introduction**

Chlorophylls and carotenoids are essential pigments of higher plant assimilatory tissues and responsible for variations of color from dark-green to yellow. Moreover, they play important roles in photosynthesis capturing light energy which is converted into chemical energy (Bauernfeind, 1981; Young and Britton, 1993). Through the process of photosynthesis, chlorophylls are capable of channeling the radiant energy of sunlight into the chemical energy of organic carbon compounds in the cell (Nichiporovich, 1974). Carotenoids are a class of natural



fat-soluble pigments found mainly in plants, algae, and photosynthetic bacteria, where they also play a critical role in the photosynthetic process. In some non-photosynthetic bacteria, yeasts, and molds, they may carry out a protective function against damage by light and oxygen (Biswall, 1995; Gitelson *et al.*, 2002). Although animals appear to be unable of synthesizing carotenoids, many incorporate carotenoids from their diet. Within animals, carotenoids provide bright coloration, serve as antioxidants, and can be a source for vitamin A activity (Britton *et al.*, 1995). Moreover, carotenoids develop important functions in plant reproduction, through their role in attracting pollinators and in seed dispersal (Yeum and Russell, 2002). Native shrubs and trees that grow in the semiarid regions of northeastern Mexico are important feed resources for range ruminants and white-tiled deer. They also provide high quality fuelwood and timber for fencing and construction, and are widely distributed in combination with other species (scattered), or are found in pure stands (Reid *et al.*, 1990; Fulbright *et al.*, 1991); however, are affected by climatic conditions and probably causing differences in the concentrations of photosynthetic pigments (chlorophyll **a** and **b** and carotenoids) when considering effects in space (sites) and weather (seasonality). To our knowledge, this is the first study of pigment profile estimation in native woody species and leaf structures growing in northeastern Mexico. Thus, the study was carried out with aims to quantify and compare, seasonally during two consecutive years, the content of photosynthetic pigments in trees and shrubs that grow under a similar climatic pattern in northeastern Mexico.

## Materials and Methods

### Study Site

This study was carried out at three sampling sites located in the state of Nuevo Leon, Mexico. The first site was located at “El Abuelo” Ranch in Los Ramones county (25°40' N; 99°27' W) with an elevation of 200 m. The climate is semiarid with warm summer. Annual mean air temperature is about 22° C. Average annual rainfall is approximately 700 mm. The second site was located at “Zaragoza” ranch in China county (25°31' N and 99°16' W). It has an elevation of 200 m. The climate is dry and warm throughout the year. Average total annual rainfall ranges from 400 to 600 mm with an annual mean air temperature of 22°C. The third site was located at the Experimental Station of Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León (24°47' N; 99°32' W; elevation of 350 m) located at Linares county. The climate is subtropical and semiarid with warm summer. Monthly mean air temperature ranges from 14.7° C in January to 22.3° C in August, although daily high temperatures of 45° C are common during summer. Average annual precipitation is about 805 mm with a bimodal distribution. The three sites are grouped under a similar climatic pattern with peak rainfall during May, June and September. The main type of vegetation is known as the Tamaulipan Thornscrub or Subtropical Thornscrub Woodlands (SPP-INEGI, 1986). The dominant soils are deep, dark-gray, lime-gray, lime-clay Vertisols, with montmorillonite, which shrink and swell noticeably in response to changes in soil moisture content.

### Plant Material

Plant species such as *Acacia rigidula* Benth. (Fabaceae, shrub), *Bumelia celastrina* H. B. K. (Sapotaceae; tree), *Castela texana* Torr & Gray (Verbenaceae; shrub), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae; shrub), *Croton cortesianus* Kunt. (Euphorbiaceae; shrub), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae; tree), *Karwinskia humboldtiana* Roem et Schult. (Rhamnaceae; shrub), *Lantana macropoda* Torr., (Simaroubaceae; shrub), *Leucophyllum frutescens* Berl. (Scrophulariaceae; shrub), *Prosopis laevigata* (Willd) M.C. Johnst. (Fabaceae; tree) and *Zanthoxylum fagara* L. (Rutaceae; tree), that are the most representative of the native vegetation of the northeastern Mexico and the subtropical savanna ecosystems of southern Texas, USA (Vines, 1984; Reid *et al.*, 1990), were selected for pigment analysis.

### Plant Tissue Sampling Procedures, Pigment Extraction and Analyses

Terminal shoots with fully expanded leaves from different plants per species were randomly chosen from a 50 m x 50 m representative and undisturbed thornscrub plot located in each site. Collections were undertaken, seasonally during two consecutive years: in summer, 2004 (August 28); fall, 2004 (November 28); winter, 2005 (February 28); spring, 2005 (May 28); summer, 2005 (August 28); fall, 2005 (November 28); winter, 2006 (February 28) and spring, 2006 (May 28). Shoots were excised and sampled from the middle side of four plants (replications) of each species. Leaves were placed into plastic bags and stored on ice under dark condition using a chest insulator. Cooled samples were then transported to laboratory for pigment analyses which were performed within 12 h after collections. Quadruplicate samples (1.0 g of leaf tissue) of each plant species were used for analyses. The chlorophylls **a** and **b** and carotenoids<sub>(x + c)</sub> were extracted in 80% (v/v) aqueous acetone and vacuum filtered through a Whatman No. 1 filter paper. Pigment measurements were quantified spectrophotometrically using a Perkin-Elmer Spectrophotometer (Model Lambda 1A). Absorbances of chlorophylls **a** and **b** and carotenoids<sub>(x + c)</sub> extracts were determined at wavelengths of 663, 645 and 470 nm, respectively. Concentrations (mg g<sup>-1</sup> fw) of pigments were calculated by equations of Lichtenthaler and Wellburn (1983).

### Statistical Analysis

Data of chlorophylls and carotenoids were statistically analyzed using one-way analysis of variance with a multi-factorial arrangement being years (2), seasons (4), plant species (11) the factors. Where the F-test was significant ( $P < 0.05$ ), differences were validated using the Tukey's honestly significant difference. Assumptions of normality of data were tested using the Kolmogorov-Smirnov test (Steel and Torrie, 1980). All applied statistical methods were computed using the SPSS package (Version 9).

### Results and Discussion

Chlorophyll **a** content was significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons (Table 1). During the first year, at Los Ramones site, chlorophyll **a** content in shrub *A. rigidula* (summer 2004) was lower (0.3 mg g<sup>-1</sup> fw) and in the tree *P. laevigata* (spring 2005; Figure 1a) was higher (1.1 mg g<sup>-1</sup> fw). Conversely, in second year, lower values (0.3 mg g<sup>-1</sup> fw) were found in *L. macropoda* in winter 2006 and higher (0.9 mg g<sup>-1</sup> fw) in *C. pallida* during summer 2005. At China site (Figure 1b) *C. cortesianus* (fall 2004) and *L. macropoda* (spring 2005) achieved lower (0.4) and higher (1.8) chlorophyll **a** content, respectively. During the second year, *C. cortesianus* (winter 2006) and *A. rigidula* (summer 2005) acquired lower (0.3) and higher (1.2) content, respectively. In Linares (Figure 1c), during the first year, higher (0.3) and lower (1.2) contents were registered in *P. laevigata* during fall 2004 and *B. celastrina* in winter 2005, respectively. However, during the second year, *L. macropoda* and *P. laevigata* resulted with lower (0.4) and higher (1.4) contents of chlorophyll **a** during winter 2006 and spring 2006, respectively. At Los Ramones and China sites, chlorophyll **a** content, in all plants, resulted higher in the first year than the second year. Conversely, at Linares, the second year was higher. It appears, that all plants had marginal higher chlorophyll **a** content at Linares (overall mean = 0.79 mg g<sup>-1</sup> fw) than China (0.71) or Los Ramones (0.66).

Chlorophyll **b** content was significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons (Table 1). During the first year, at Los Ramones site (Figure 2a), chlorophyll **b** content in the shrub *A. rigidula* (summer) was lower (0.2 mg g<sup>-1</sup> fw) and in *L. frutescens* (summer) was higher (0.4). Moreover, in second year *A. rigidula* (winter) was lower (0.03) and *C. cortesianus* (spring) was higher (0.4). At China (Figure 2b) lower values (0.1) were detected in *C. texana* in spring and higher (0.6) in *L. macropoda* in spring too. During the second year, chlorophyll **b** content followed a similar pattern as the first year. At Linares (Figure 2c), during the first year, lower (0.1) and higher (0.6) values were observed in *F. angustifolia* and *L.*

**Table 1.** Calculated mean square values from the statistical analysis corresponding to data collected between summer 2004 and spring 2006 of eleven plant species at northeastern Mexico.

Sites	Sources of Variation	Chlorophyll a			Chlorophyll b			Carotenoids		
		MS	F value	Sig	MS	F value	Sig	MS	F value	Sig
Ramones	Years (Y)	0.3	25	***	0.2	152	***	0.02	21	***
	Seasons (S)	0.1	6	***	0.1	63	***	0.1	96	***
	Plant Species (PS)	0.1	11	***	0.01	5	***	0.03	34	***
	Y*S	0.3	28	***	0.1	35	***	0.02	20	***
	Y*PS	0.04	4	***	0.01	5	***	0.001	1	**
	S*PS	0.1	7	***	0.01	8	***	0.01	5	***
	Y*S*PS	0.1	8	***	0.01	4	***	0.01	5	***
	Error	0.01			0.002			0.001		
China	Years (Y)	0.2	15	***	0.2	53	***	0.01	9	***
	Seasons (S)	0.03	3	*	0.2	61	***	0.1	79	***
	Plant Species (PS)	0.4	33	***	0.1	14	***	0.1	108	***
	Y*S	0.1	11	***	0.02	8	***	0.01	22	***
	Y*PS	0.1	10	***	0.01	5	***	0.01	8	ns
	S*PS	0.1	8	***	0.01	3	***	0.01	11	***
	Y*S*PS	0.1	11	***	0.01	4	***	0.01	6	***
	Error	0.01			0.003			0.001		
Linares	Years (Y)	0.6	38	***	0.02	6	**	0.04	31	***
	Seasons (S)	0.1	6	***	0.2	51	***	0.1	70	***
	Plant Species (PS)	0.2	13	***	0.1	18	***	0.04	36	***
	Y*S	1.0	47	***	0.1	44	***	0.04	32	***
	Y*PS	0.1	9	***	0.01	4	***	0.01	5	***
	S*PS	0.1	9	***	0.02	7	***	0.01	6	***
	Y*S*PS	0.1	6	***	0.02	7	***	0.01	4	***
	Error	0.01			0.003			0.001		

MS = mean square; Y = years; S = seasons PS = plant species; Sig = significant level; \*( $P < 0.05$ ); \*\*( $P < 0.01$ ); \*\*\*( $P < 0.001$ ); ns = not significant.

*frutescens* during summer 2004, respectively. Conversely, in the second year, *C. pallida* in winter 2005 was higher (0.1) and *K. humboldtiana* in autumn was lower (0.6). In all plants, annual and seasonal contents of chlorophyll **b** followed a similar trend as chlorophyll **a**; Linares was marginal high (overall mean = 0.29 mg g<sup>-1</sup> fw) than Los Ramones (0.25) or China (0.23).

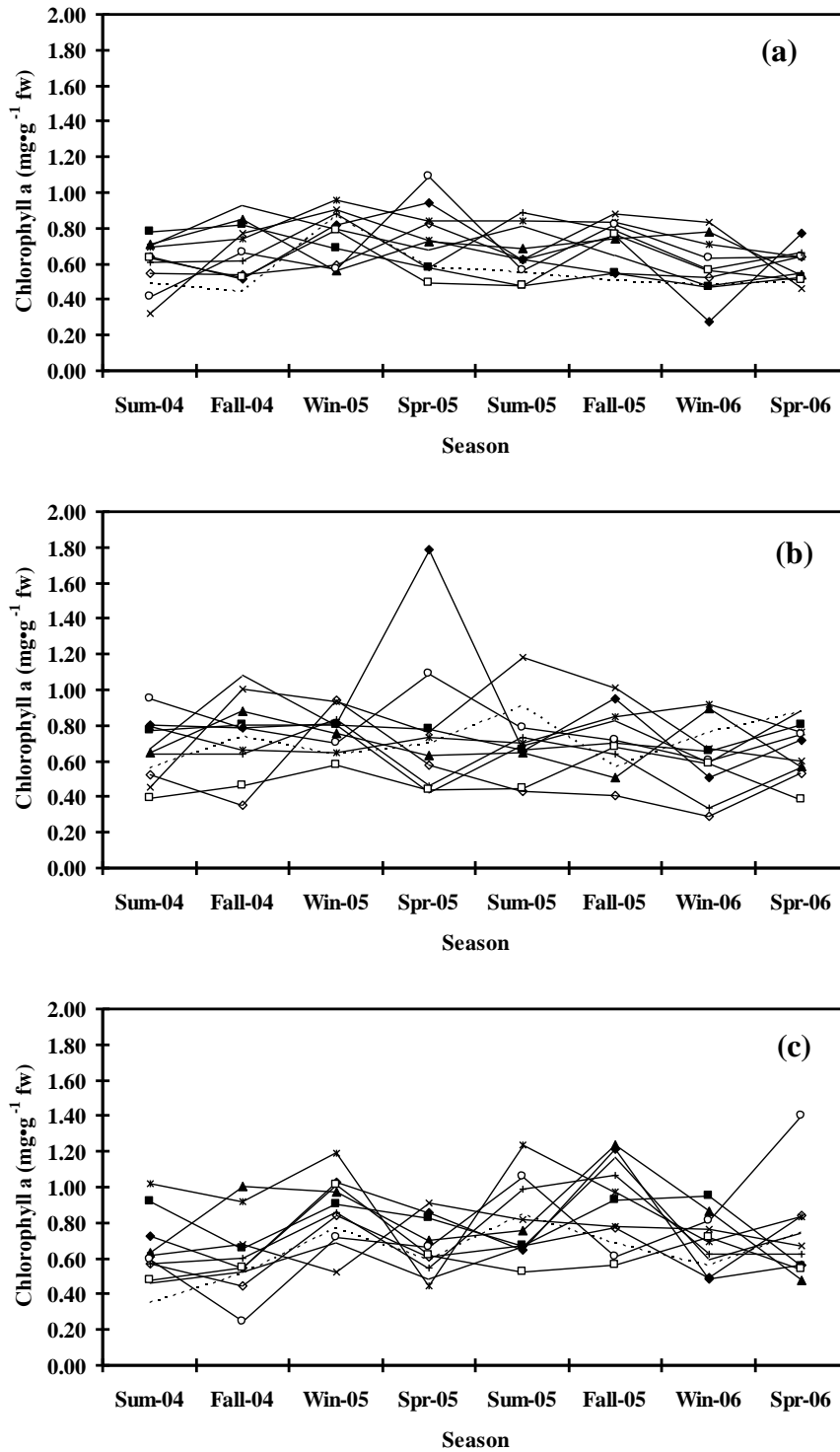
With exception of interaction year\*plant species at Los Ramones site, carotenoids content was significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons (Table 1). At Los Ramones site (Figure 3a), during the first year, lower (0.1 mg g<sup>-1</sup> fw) and higher (0.3 mg g<sup>-1</sup> fw) values were detected in *P. laevigata* (summer) and *K. humboldtiana* (fall), respectively. In second year, lower (0.1) and higher (0.4) values were observed in *A. rigidula* (spring) and *K. humboldtiana* (winter), respectively. During first year, at China (Figure 3b), *C. texana* (summer) and *K. humboldtiana* (winter) were lower (0.1) and higher (0.5), respectively. Moreover, in second year, *C. texana* (spring) was lower (0.03) and *K. humboldtiana* (winter) higher (0.5). In Linares (Figure 3c), during the first year, minimum (0.03) and maximum (0.4) concentrations were registered in *C. cortesianus* (summer) and *K. humboldtiana* (winter). During second year, *C. texana* (spring) was lower (0.1) and *K. humboldtiana* (fall-2005) was higher (0.5). Low marginal differences were found in all plants among research sites being the overall mean of 0.2 mg carotenoids g<sup>-1</sup> fw. Chlorophylls and carotenoids absorb light energy and transfer

it into the photosynthetic apparatus of leaves; therefore, determinations of leaf pigments content can provide a valuable tool to integrate and understand the physiological and biochemical function of leaves (Sims and Gamon, 2000).

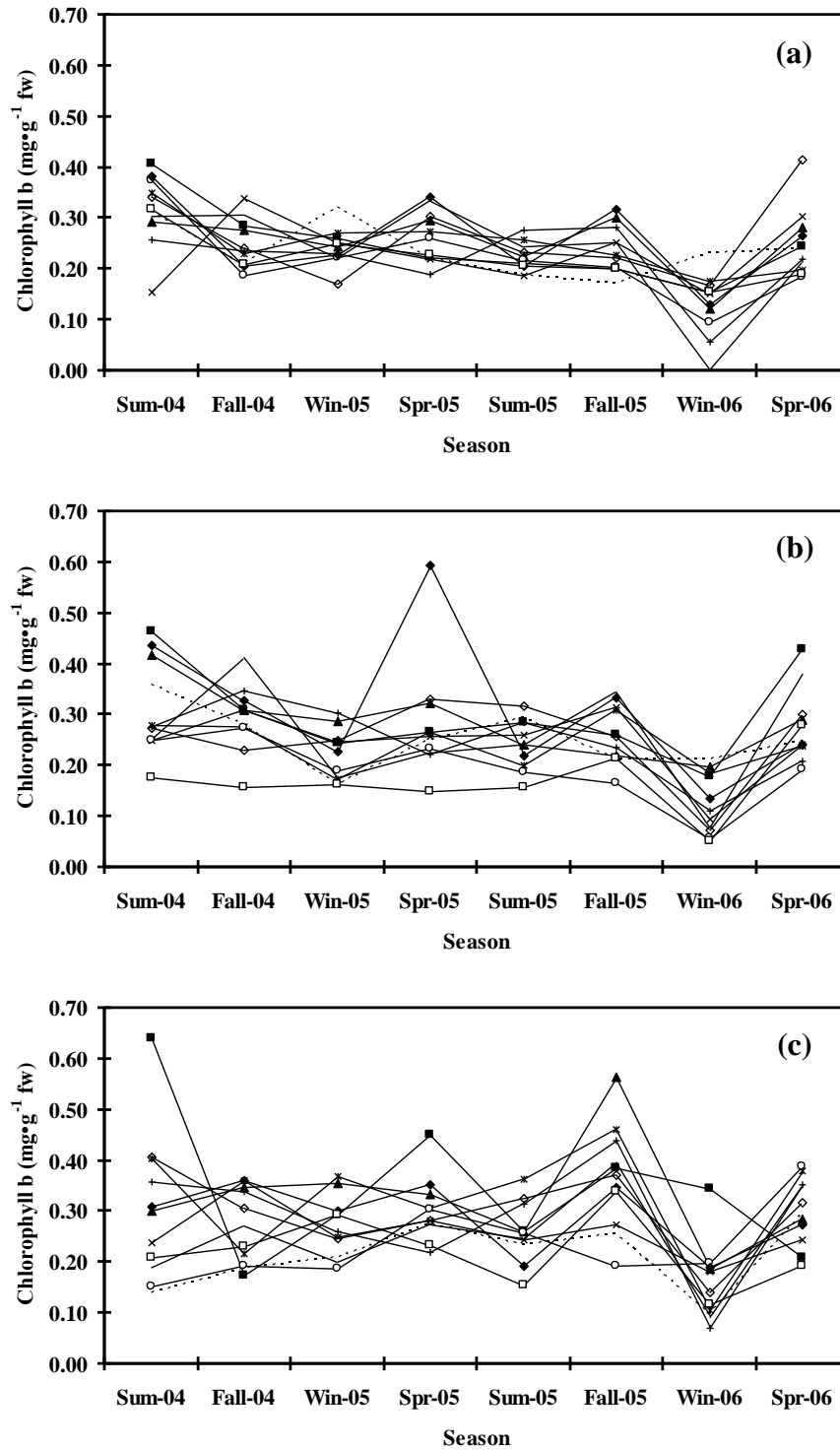
Chlorophylls and carotenoids absorb light energy and transfer it into the photosynthetic apparatus of leaves; therefore, determinations of leaf pigments content can provide a valuable tool to integrate and understand the physiological and biochemical function of leaves (Sims and Gamon, 2000). Results of this study suggest that chlorophylls **a** and **b** and carotenoids content of plant species varied between years, seasons and between plants within years and seasons. This finding confirm the importance to address research on these native plants, with ecological and forage potential value, in order to understand the function that, plant pigments, may play in ecosystem productivity, and the influence of drought and extreme temperatures that prevails during winter and summer seasons in this region (González *et al.*, 2000).

It has been established that productivity of higher plants is mediated by leaves and adaptations of plants to the environment involve leaf traits (Valladares *et al.*, 2000). Native vegetation in northeastern Mexico, composed mainly by shrubs and small trees, is characterized by low biomass productivity (about 3.2 kg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>; Villalón, 1989) because during summer, native plants have to deal with soil water deficits, high temperatures and high irradiance levels (González *et al.*, 2004). Furthermore, these plants have low tissue water potential because are exposed to low temperatures (-3 to 5° C) during winter and dry and warm whether in spring and summer seasons (González *et al.*, 2000, 2004). Under such environmental conditions, photosynthesis may be limited by temperature, stomatal control and light energy damage. In addition, chlorophylls content and the chlorophyll **a/b** ratio, in some plants, are affected by temperature (Ottander *et al.*, 1995) and prevailing shade characteristics (Castrillo *et al.*, 2001).

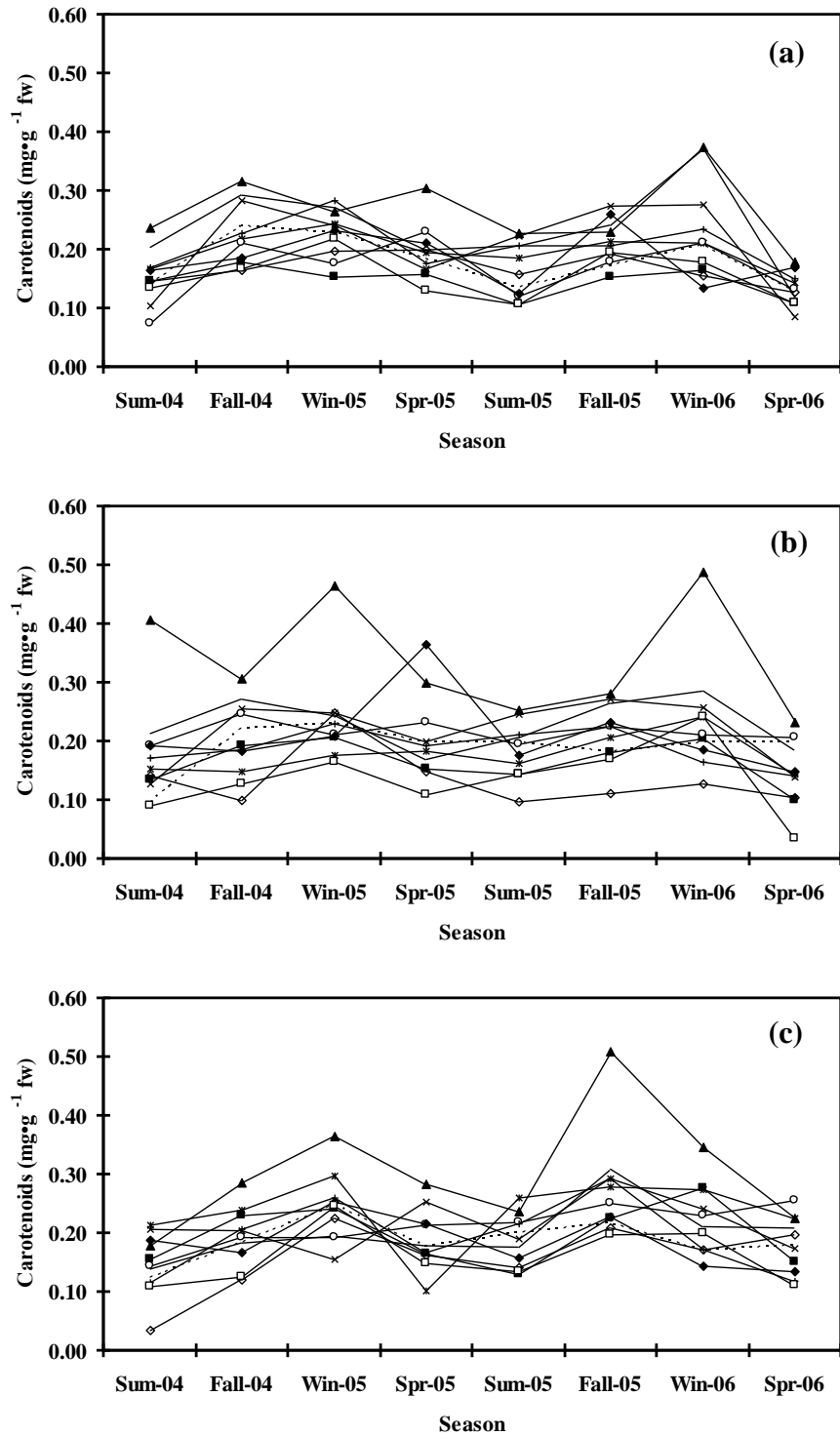
Seasonality of pigments in plants evaluated in this study was also reported by Schlerf *et al.* (2003) in spruce needles; however, they found higher values. It has been suggested that variation of pigments could be related to phenological phases of plant species such a flowering and production of sprouts (Arthur *et al.*, 1987). Other studies have revealed that loss of pigment content might have been associated with reduction in nitrogen flux into leaf tissue, alterations in the activity of enzyme systems such as nitrate reductase (Morilla *et al.*, 1973) or nitrogenase in legumes (Engin and Sprent, 1973). In this study, Fabaceae species showed higher content in chlorophyll **a** than non Fabaceae species. However, contents of chlorophyll **b** and carotenoids remained the same across Families. In this study, chlorophylls in all plants were higher than carotenoids. Moreover, a significant positive linear relationship was found between carotenoids and chlorophyll **a** content. Chlorophyll **a** content explained about 32% (China;  $P<0.001$ ), 39% (Los Ramones;  $P<0.001$ ), and 45% (Linares;  $P<0.001$ ) of the total seasonality of carotenoids. These finding are in agreement with Sims and Gamon (2002), who studied the relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of plant species. Relationships between carotenoids and chlorophyll **a** content included a range of healthy leaves and stressed leaf tissue due to drought and extreme temperatures (Table 1). During winter of 2006 a temperature of -5° C was registered in the region causing a reduction of chlorophyll **b** content at the three sites. However, the seasonal pattern of chlorophyll **a** content was more variable than chlorophyll **b** or carotenoids in all plants. Evaluated plants are characterized by a wide range of taxonomic groups exhibiting differences in growth patterns, leaf life spans, textures, growth dynamics, and phenological development (Reid *et al.*, 1990; McMurtry *et al.*, 1996; Northup *et al.*, 1996). In general, tree species had higher contents of chlorophyll **a** than shrubs. In contrast, contents of chlorophyll **b** and carotenoids did not differ among growth forms. Perennial plants such as *Bumelia celastrina*, *Celtis pallida*, *Karwinskia humboldtiana* and *Zanthoxylum fagara* had higher (mean = 0.7 mg g<sup>-1</sup> fw) chlorophyll **a** than deciduous species such as *Forestiera angustifolia*, *Castela texana* and *Croton cortesianus* (0.6).



**Figure 1.** Seasonal contents of chlorophyll *a* at Los Ramones (a), China (b) and Linares (c) sites in eleven native trees and shrubs. Plotted data points are means from four independent measurements per plant species. Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06 = Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. *C. cortesianus* (◇); *L. frutescens* (■); *K. humboldtiana* (▲); *A. rigidula* (x); *B. celastrina* (\*); *P. laevigata* (○); *C. pallida* (+); *Z. fagara* (-); *F. angustifolia* (-); *L. macropoda* (◆); *C. texana* (□).



**Figure 2.** Seasonal contents of chlorophyll **b** at Los Ramones (a), China (b) and Linares (c) sites in eleven native trees and shrubs. Plotted data points are means from four independent measurements per plant species. Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06= Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. *C. cortesianus* (◇); *L. frutescens* (■); *K. humboldtiana* (▲); *A. rigidula* (x); *B. celastrina* (\*); *P. laevigata* (○); *C. pallida* (+); *Z. fagara* (-); *F. angustifolia* (-); *L. macropoda* (◆); *C. texana* (□).



**Figure 3.** Seasonal contents of carotenoids<sub>(x+c)</sub> at Los Ramones (a), China (b) and Linares (c) sites in eleven native trees and shrubs. Plotted data points are means from four independent measurements per plant species. Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06= Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. *C. cortesianus* ( $\diamond$ ); *L. frutescens* ( $\blacksquare$ ); *K. humboldtiana* ( $\blacktriangle$ ); *A. rigidula* (x); *B. celastrina* (\*); *P. laevigata* ( $\circ$ ); *C. pallida* (+); *Z. fagara* (-); *F. angustifolia* (-); *L. macropoda* ( $\blacklozenge$ ); *C. texana* ( $\square$ ).

Variations in chlorophyll content between plants have been related to leaf development and senescence (Gitelson and Merzlyak, 1994; Gamon and Surfus, 1999; Carter and Knapp, 2001). Furthermore, Valladares *et al.* (2000) reported that chlorophyll content was higher in shade leaves than sun leaves, whereas carotenoids content and nonphotochemical quenching increased with light.

Studies on carotenoids composition of sun leaves of plants with different life forms have revealed that sun leaves contained greater amounts of the components of the xanthophyll cycle violaxanthin, antheraxanthin and zeaxanthin as well as of  $\beta$ -carotene than the shade leaves (Demmig-Adams and Adams III, 1992). However, in the present study, it remains unclear whether lower or higher chlorophyll content at a given season is related to shade or sun leaves, since a pooled leaf sample was taken from each individual species. Kyparissis *et al.* (1995) have indicated that reduction of chlorophylls does not result from severe photoinhibitory damage, instead, it may be an adaptive response against the adverse conditions of the Mediterranean summer. This rationale could be extended to northeastern Mexico ecosystems, since water availability, as in Mediterranean field conditions (Kyparissis *et al.*, 2000; Valladares *et al.*, 2000; Oliveira and Peñuelas, 2001), is the most limiting factor controlling plant growth, survival and distribution in dry climates (Kramer, 1983; Newton and Goodin, 1989).

The great diversity of native plants in northeastern Mexico reflects the plasticity of how trees and shrubs species deal with seasonal water deficits, extreme temperatures (frost or heat) and excessive irradiance levels as main multiple stresses that may co-occur either during the winter or summer seasons.

### Implications

Results of the present study suggest that, even though, all plants differed in pigment content and followed a seasonal pattern, during adequate or adverse conditions such as extreme temperatures and water shortages, they still could play important roles in maintaining the productivity of dry rangeland ecosystems. However, studies on leaf tissue at morphological, anatomical, biophysical, biochemical, physiological, and molecular level should be addressed to elucidate the underlying mechanisms employed by these trees and shrubs to adapt to this ecosystem and to deal with prolonged drought periods, high temperatures and high irradiance levels, with the purpose to identify fundamental mechanisms that increase or reduce pigment concentration, and how they are related to photochemical efficiency, photoinhibition and tissue water relations. These questions could be focused at both leaf and chloroplast (thylakoid) level. Thus, thornscrub ecosystems in northeastern Mexico provide a good opportunity to investigate the ecophysiology and photoprotective capacity of native trees and shrubs that traditionally have been used as a forage source for domestic livestock and wildlife.

### References

- Arthur, R.T., Durant M.E., Freeman D.C., 1987. Variations in physiological metabolites and chlorophyll in sexual phenotypes of rincon fourwing saltbush. *Journal of Range Management* 40, 151–155.
- Bauernfeind, J.C., 1981. Carotenoids as colorants and vitamin A precursors. Academic Press, New York.
- Biswall, B., 1995. Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 30, 3–13.
- Britton, G., 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB Journal* 9, 1551–1558.
- Castrillo, M., Vizcaino, D., Moreno, E., Latorraca, Z., 2001. Chlorophyll content in some cultivated and wild species of the family *Lamiaceae*. *Biologia Plantarum* 44, 423–425.
- Carter, G.A., Knapp, A.K., 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany* 88, 677–684.
- Demmig-Adams, B., Adams III, W.W., 1992. The role of xanthophylls cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Plant, Cell and Environment* 15, 411–419.
- Engin, M., Sprent, J.I., 1973. Effect of water stress on growth and nitrogen-fixing activity of *Trifolium repens*. *New Phytologist* 72, 117–126.



- Fulbright, T.E., Reynolds, J.P., Beasom, S.L. Demarais, S., 1991. Mineral content of guajillo regrowth following roller chopping. *Journal of Range Management* 44, 520–522.
- Gamon, J.A., Surfus, J.S., 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist* 143, 105–117.
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., 1994. Spectral reflectance changes associate with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology* 143, 286–292.
- Gitelson, A.A., Zur, Y., Chivkunova, O.B., Merzlyak, M.N., 2002. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology* 75, 272–281.
- González, R.H., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V., Jordan, W.R., 2000. Seasonal plant water relationships in *Acacia berlandieri*. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 14, 343–357.
- González, R.H., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V., Ramírez, L.R.G., 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. *Journal of Arid Environment* 58, 483–503.
- Kramer, P.J., 1983. Water relations of plants. Academic Press, Inc. San Diego, CA. p. 489.
- Kyparissis, A., Y. Petropoulou and Y. Manetas, 1995. Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa* L., Labiatae) under Mediterranean field conditions,: avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. *Journal of Experimental Botany* 46, 1825–1831.
- Kyparissis, A., Drilias, P., Manetas, Y., 2000. Seasonal fluctuations in photoprotective (xanthophylls cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms. *Functional Australian Journal of Plant Physiology* 27, 265–272.
- Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R., 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll *a* and *b* of leaf extract in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11, 591–592.
- McMurtry, C.R., Barnes, P.W., Nelson, J.A., Archer, S.R., 1996. Physiological responses of woody vegetation to irrigation in a Texas subtropical savanna. La Copita Research Area: 1996 Consolidated Progress Report. Texas Agricultural Experiment Station – Corpus Christi, Texas A&M University System, College Station, TX. pp. 33–37.
- Morilla, C.A., Boyer, J.S. Hageman, R.H., 1973. Nitrate reductase activity and polyribosomal content of corn (*Zea mays* L.) having low leaf water potentials. *Plant Physiology* 51, 817–824.
- Newton, R.J., Goodin, J.R., 1989. Moisture stress adaptation in shrubs. In: McKell, C.M. (Ed.), *The Biology and Utilization of Shrubs*. Academic Press Inc. San Diego, CA. pp. 365–383.
- Nichiporovich, A.A., 1974. Chlorophyll and Photosynthetic Productivity of Plants, *Khlorofill* (Chlorophyll), Shlyk, A.A., Ed., Minsk: Nauka i Tekhnika, pp. 49–62.
- Northup, B.K., Zitzer, S.F., Archer, S.R., Boutton, T.W., 1996. A technique to allocate biomass of woody plants. La Copita Research Area: 1996 Consolidated Progress Report. Texas Agricultural Experiment Station – Corpus Christi, Texas A&M University System, College Station, TX. pp. 47–50.
- Oliveira, G., Peñuelas, J., 2001. Allocation of absorbed light energy into photochemistry and dissipation in a semi-deciduous and evergreen Mediterranean woody species during winter. *Australian Journal of Plant Physiology* 28, 471–480.
- Ottander, C., Campbell, D., Öquist, G., 1995. Seasonal changes in photosystem II organisation and pigment composition in *Pinus sylvestris*. *Planta* 197, 176–183.
- Reid, N., Marroquín, J., Beyer-Münzel, P., 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 36, 61–79.
- Sims, D.A., Gamon, J.A., 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structure and developmental stages. *Remote Sensing of Environment* 81, 337–354.
- SPP-INEGI, 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. México, D.F.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., 1980. Principles and procedures of statistics: A Biometrical Approach, 2<sup>nd</sup> Ed. McGraw-Hill, New York, NY. pp. 632.
- Valladares, F., Martinez-Ferri, E., Balaguer, L., Perez-Corona, E., Manrique, E., 2000. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy. *New Phytologist* 148, 79–91.
- Villalón, H.M., 1989. Ein Beitrag zur Verwertung von Biomasseproduktion und deren Qualität für die forst- und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Gemeinde Linares, N.L., Mexiko. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 39., 165 S.
- Vines, R.A., 1984. *Trees of central Texas*. Austin. University of Texas Press.
- Yeum, K.J., Russell, R.M., 2002. Carotenoid bioavailability and bioconversion. *Annual Review of Nutrition* 22, 483–504.
- Young, A., Britton, G., 1993. Carotenoid in photosynthesis, 1<sup>st</sup> ed. Chapman and Hall, London. pp. 498.

## Seasonal Trends of Chlorophylls a and b and Carotenoids in Native Trees and Shrubs of Northeastern Mexico

<sup>1</sup>J.I. Uvalle Saucedo, <sup>1</sup>H. González Rodríguez, <sup>2</sup>R.G. Ramírez Lozano,

<sup>1</sup>I. Cantú Silva and <sup>3</sup>M.V. Gómez Meza

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales, <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas,

<sup>3</sup>Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México

**Abstract:** During two consecutive years, chlorophylls a and b and carotenoids contents were determined, seasonally, in foliar tissue of native Trees (T) and Shrubs (S) from Northeastern Mexico such as *Acacia rigidula* (S), *Bumelia celastrina* (T), *Castela texana* (S), *Celtis pallida* (S), *Croton cortesianus* (S), *Forestiera angustifolia* (S), *Karwinskia humboldtiana* (S), *Lantana macropoda* (S), *Leucophyllum frutescens* (S), *Prosopis laevigata* (T), *Zanthoxylum fagara* (T). Pigment determinations were carried out in a region of the State of Nuevo León, México at three county (Los Ramones, China and Linares) sites, which are grouped under a similar climatic pattern. All pigments were significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons, except year×plant interaction for carotenoids at China site. All plants had marginal higher chlorophyll a content at Linares (0.79 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) than China (0.71) or Los Ramones (0.66) site. Chlorophyll b content followed a similar trend as chlorophyll a (0.29, 0.25 and 0.23 mg g<sup>-1</sup> f.wt., respectively). Marginal differences in carotenoids content, in all plants, were found among sites being the 0.20 mg carotenoids g<sup>-1</sup> f.wt. Yearly and seasonal variations in plant pigments might have been related to seasonal water deficits, excessive irradiance levels during summer and extreme low temperatures in winter that could have affected leaf development and senescence.

**Key words:** Chlorophylls a and b, carotenoids

### INTRODUCTION

Chlorophylls and carotenoids are essential pigments of higher plant assimilatory tissues. Moreover, they play important roles in photosynthesis capturing light energy which is converted into chemical energy (Young and Britton, 1993). Chlorophylls are capable of channeling the radiant energy of sunlight into the chemical energy of organic carbon compounds through the process of photosynthesis in the cell (Sims and Gamon, 2002).

Carotenoids are a class of natural fat-soluble pigments found mainly in plants, algae and photosynthetic bacteria, where they also play a critical role in the photosynthetic process. In some non-photosynthetic bacteria, yeasts and molds, they may carry out a protective function against damage by light and oxygen (Biswal, 1995; Gitelson *et al.*, 2002). Although animals appear to be unable of synthesizing carotenoids, many incorporate carotenoids from their diet. Within animals, carotenoids provide bright coloration, serve as

antioxidants and can be a source for vitamin A activity (Britton, 1995). Moreover, carotenoids develop important functions in plant reproduction, through their role in attracting pollinators and in seed dispersal (Yeum and Russell, 2002).

Native shrubs and trees that grow in the semiarid regions of Northeastern Mexico are important feed resources for range ruminants and white-tiled deer (Ramírez, 1999). They also provide high quality fuelwood and timber for fencing and construction and are widely distributed in combination with other species (Reid *et al.*, 1990; Fulbright *et al.*, 1991); however, are affected by climatic conditions and probably causing differences in the concentrations of photosynthetic pigments (chlorophyll a and b and carotenoids) when considering effects in space (sites) and weather (seasonality). To our knowledge, this is the first study of pigment profile estimation in native woody species and leaf structures growing in Northeastern Mexico. Thus, the study was carried out with the aim of quantify and compare,

seasonally during two consecutive years, the content of photosynthetic pigments in trees and shrubs that grow under a similar climatic pattern in Northeastern Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

**Study area:** This study was carried out at three sampling sites situated in the state of Nuevo Leon, Mexico. The first site was located at El Abuelo Ranch in Los Ramones county (25° 40' N; 99° 27' W) with an elevation of 200 m. The climate is semiarid with warm summer. Annual mean air temperature is about 22°C. Average annual rainfall is approximately 700 mm. The second site was located at Zaragoza ranch in China county (25° 31' N and 99° 16' W). It has an elevation of 200 m. The climate is dry and warm throughout the year. Average total annual rainfall ranges from 400 to 600 mm with an annual mean air temperature of 22°C. The third site was located at the Experimental Station of Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León (24° 47' N; 99° 32' W; elevation of 350 m) located at Linares county. The climate is subtropical and semiarid with warm summer. Monthly mean air temperature ranges from 14.7°C in January to 22.3°C in August, although daily high temperatures of 45°C are common during summer. Average annual precipitation is about 805 mm with a bimodal distribution. In this study, registered seasonal mean air temperatures (°C) and rainfall (mm) are shown in Table 1. In general, the three sites are grouped under a similar climatic pattern with peak rainfall during May, June and September. The main type of vegetation is known as the Tamaulipan Thornscrub or Subtropical Thornscrub Woodlands (SPP-INEGI, 1986). The dominant soils are deep, dark-gray, lime-gray, lime-clay Vertisols, with montmorillonite, which shrink and swell noticeably in response to changes in soil moisture content.

**Plant material and tissue sampling procedures:** Plant species such as *Acacia rigidula* Benth. (Fabaceae, shrub), *Bumelia celastrina* H. B. K. (Sapotaceae; tree), *Castela texana* Torr and Gray (Verbenaceae; shrub),

*Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae; shrub), *Croton cortesianus* Kunt. (Euphorbiaceae; shrub), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae; tree), *Karwinskia humboldtiana* Roem et Schult. (Rhamnaceae; shrub), *Lantana macropoda* Torr., (Simaroubaceae; shrub), *Leucophyllum frutescens* Berl. (Scrophulariaceae; shrub), *Prosopis laevigata* (Willd) M.C. Johnst. (Fabaceae; tree) and *Zanthoxylum fagara* L. (Rutaceae; tree), that are the most representative of the native vegetation of the Northeastern Mexico and the subtropical savanna ecosystems of southern Texas, USA (Reid *et al.*, 1990), were selected for pigment analysis.

Terminal shoots with fully expanded leaves from different plants per species were randomly chosen from a 50×50 m representative and undisturbed thornscrub plot located in each site. Collections were undertaken, seasonally during two consecutive years: in summer, 2004 (August 28); fall, 2004 (November 28); winter, 2005 (February 28); spring, 2005 (May 28); summer, 2005 (August 28); fall, 2005 (November 28); winter, 2006 (February 28) and spring, 2006 (May 28). Shoots were excised and sampled from the middle side of four plants (replications) of each species. Leaves were placed into plastic bags and stored on ice under dark condition using a chest insulator. Cooled samples were then transported to laboratory for pigment analyses which were performed within 12 h after collections.

**Determination of chlorophylls and carotenoids:** Quadruplicate leaf tissue samples (1.0 g of fresh weight) of each plant species were used for analyses. The chlorophylls a and b and carotenoids were extracted in 80% (v/v) aqueous acetone and vacuum filtered through a Whatman No. 1 filter paper. Pigment measurements were quantified spectrophotometrically using a Perkin-Elmer Spectrophotometer (Model Lambda 1A). Absorbance of chlorophylls a and b and carotenoids extracts were determined at wavelengths of 663, 645 and 470 nm, respectively. Concentrations (mg g<sup>-1</sup> f.wt.) of pigments were calculated by equations of Lichtenthaler and Wellburn (1983).

Table 1: Seasonal mean air temperatures (°C) and rainfall (mm) at research sites in Northeastern Mexico

Season	Site					
	Los Ramones		China		Linares	
	Temperature	Rainfall	Temperature	Rainfall	Temperature	Rainfall
Summer 2004	22.8	294	23.6	457	23.6	447
Fall 2004	17.7	96	19.4	31	22.1	95
Winter 2005	10.1	98	11.3	74	13.4	133
Spring 2005	16.5	96	18.2	140	20.5	94
Summer 2005	23.1	322	24.5	486	23.4	465
Fall 2005	17.2	194	19.5	101	19.0	316
Winter 2006	8.7	4	11.5	14	9.7	9
Spring 2006	18.8	158	19.9	150	19.6	79

**Statistical analyses:** Data of chlorophylls and carotenoids were statistically analyzed using one-way analysis of variance with a multi-factorial arrangement being years (2), seasons (4), plant species (11) the factors. Where the F-test was significant ( $p < 0.05$ ), differences were validated using the Tukey's honestly significant difference. Assumptions of normality of data were tested using the Kolmogorov-Smirnov test (Steel and Torrie, 1980). To compare pigment content between Fabaceae and non Fabaceae and shrubs versus trees plant species, the t-test was performed (Steel and Torrie, 1980). Simple correlation analyses between pigment content and mean temperature and cumulative rainfall registered at each season was also computed. In addition, climate variables were used as covariates to adjust pigment data (Steel and Torrie, 1980). All applied statistical methods were computed using the SPSS package (Version 9).

## RESULTS

Chlorophyll a content was significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons (Table 2). During the first year, at Los Ramones site, chlorophyll a content in shrub *A. rigidula* (summer 2004) was lower ( $0.3 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) and in the tree *P. laevigata* (spring 2005; Table 3) was higher ( $1.1 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ). Conversely, in second year, lower values ( $0.3 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) were found in *L. macropoda* in

winter 2006 and higher ( $0.9 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) in *C. pallida* during summer 2005. At China site (Table 3) *C. cortesianus* (fall 2004) and *L. macropoda* (spring 2005) achieved lower (0.4) and higher (1.8) chlorophyll a content, respectively. During the second year, *C. cortesianus* (winter 2006) and *A. rigidula* (summer 2005) acquired lower (0.3) and higher (1.2) content, respectively. In Linares (Table 3), during the first year, higher (0.3) and lower (1.2) contents were registered in *P. laevigata* during fall 2004 and *B. celastrina* in winter 2005, respectively. However, during the second year, *L. macropoda* and *P. laevigata* resulted with lower (0.4) and higher (1.4) contents of chlorophyll a during winter 2006 and spring 2006, respectively. At Los Ramones and China sites, chlorophyll a content, in all plants, resulted higher in the first year than the second year. Conversely, at Linares, the second year was higher. It appears, that all plants had marginal higher chlorophyll a content at Linares (overall mean =  $0.79 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) than China (0.71) or Los Ramones (0.66).

It seems that during fall (overall mean =  $0.73 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) and winter ( $0.72$ ) chlorophyll a was higher than summer ( $0.68$ ) or spring ( $0.69$ ). In general, it appears that Fabaceae plants showed higher ( $0.74 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) contents of chlorophyll a than non Fabaceae species ( $0.68$ ; Table 4). In addition, trees were higher ( $0.76 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) than shrubs ( $0.68$ ; Table 5).

Table 2: Calculated mean square values from the statistical analysis corresponding to data collected between summer 2004 and spring 2006 of eleven plant species at Northeastern Mexico

Sites	Sources of variation	Chlorophyll a			Chlorophyll b			Carotenoids		
		MS	F-value	Sig	MS	F-value	Sig	MS	F-value	Sig
Los Ramones	Years	0.30	25	***	0.20	152	***	0.02	21	***
	Seasons	0.10	6	***	0.10	63	***	0.10	96	***
	Plant Species	0.10	11	***	0.01	5	***	0.03	34	***
	Y×S	0.30	28	***	0.10	35	***	0.02	20	***
	Y×PS	0.04	4	***	0.01	5	***	0.001	1	**
	S×PS	0.10	7	***	0.01	8	***	0.01	5	***
	Y×S×PS	0.10	8	***	0.01	4	***	0.01	5	***
	Error	0.01			0.002			0.001		
China	Years	0.20	15	***	0.20	53	***	0.01	9	***
	Seasons	0.03	3	*	0.20	61	***	0.10	79	***
	Plant Species	0.40	33	***	0.10	14	***	0.10	108	***
	Y×S	0.10	11	***	0.02	8	***	0.01	22	***
	Y×PS	0.10	10	***	0.01	5	***	0.01	8	ns
	S×PS	0.10	8	***	0.01	3	***	0.01	11	***
	Y×S×PS	0.10	11	***	0.01	4	***	0.01	6	***
	Error	0.01			0.003			0.001		
Linares	Year	0.60	38	***	0.02	6	**	0.04	31	***
	Season	0.10	6	***	0.20	51	***	0.10	70	***
	Plant Species	0.20	13	***	0.10	18	***	0.04	36	***
	Y×S	1.00	47	***	0.10	44	***	0.04	32	***
	Y×PS	0.10	9	***	0.01	4	***	0.01	5	***
	S×PS	0.10	9	***	0.02	7	***	0.01	6	***
	Y×S×PS	0.10	6	***	0.02	7	***	0.01	4	***
	Error	0.01			0.003			0.001		

MS = Mean Square; Y = Years; S = Seasons PS = Plant Species; Sig = Significant level; \*: ( $p < 0.05$ ); \*\*: ( $p < 0.01$ ); \*\*\*: ( $p < 0.001$ ); ns = not significant

Table 3: Seasonal contents (mg g<sup>-1</sup> f.wt.) of chlorophyll a at Los Ramones, China and Linares sites in eleven native trees and shrubs

Site	Year	Season	Plant species											Mean	SE	p-value
			<i>Cro. cor.</i>	<i>Leu. fru.</i>	<i>Kar. hum.</i>	<i>Aca. rig.</i>	<i>Bum. cel.</i>	<i>Pro. lae.</i>	<i>Cel. pal.</i>	<i>Zan. fog.</i>	<i>For. ang.</i>	<i>Lan. mac.</i>	<i>Cas. ere.</i>			
Los Ramones	1	Sum-04	0.55	0.78	0.71	0.32	0.69	0.42	0.62	0.71	0.49	0.64	0.63	0.60	0.01	<0.001
		Fall-04	0.54	0.82	0.85	0.77	0.74	0.66	0.62	0.93	0.44	0.52	0.52	0.67	0.02	<0.001
		Win-05	0.60	0.69	0.57	0.91	0.96	0.58	0.88	0.80	0.87	0.82	0.79	0.78	0.02	0.002
		Spr-05	0.83	0.58	0.73	0.73	0.85	1.09	0.58	0.68	0.58	0.93	0.50	0.73	0.02	<0.001
		Mean	0.64	0.71	0.71	0.70	0.82	0.68	0.68	0.78	0.61	0.74	0.61	0.70		
	2	Sum-05	0.63	0.48	0.69	0.63	0.85	0.57	0.89	0.81	0.55	0.63	0.48	0.66	0.02	<0.001
		Fall-05	0.55	0.55	0.74	0.88	0.85	0.82	0.79	0.65	0.50	0.76	0.77	0.71	0.01	<0.001
		Win-06	0.53	0.47	0.78	0.84	0.71	0.63	0.57	0.48	0.48	0.28	0.56	0.58	0.02	<0.001
		Spr-06	0.64	0.53	0.54	0.47	0.65	0.65	0.67	0.55	0.51	0.77	0.51	0.59	0.01	0.002
		Mean	0.59	0.51	0.69	0.70	0.76	0.67	0.73	0.62	0.51	0.61	0.58	0.63		
China	1	Sum-04	0.52	0.78	0.65	0.45	0.80	0.95	0.64	0.67	0.56	0.80	0.39	0.67	0.01	<0.001
		Fall-04	0.55	0.80	0.89	1.00	0.67	0.79	0.64	1.08	0.74	0.79	0.46	0.74	0.02	<0.001
		Win-05	0.94	0.81	0.76	0.94	0.65	0.70	0.84	0.81	0.63	0.82	0.58	0.77	0.02	0.002
		Spr-05	0.58	0.78	0.63	0.76	0.74	1.09	0.46	0.42	0.69	1.79	0.44	0.75	0.01	<0.001
		Mean	0.58	0.79	0.72	0.82	0.71	0.88	0.66	0.77	0.66	1.01	0.47	0.73		
	2	Sum-05	0.43	0.67	0.65	1.19	0.70	0.79	0.74	0.69	0.91	0.66	0.45	0.71	0.02	<0.001
		Fall-05	0.41	0.71	0.51	1.01	0.86	0.72	0.64	0.83	0.57	0.96	0.68	0.72	0.02	<0.001
		Win-06	0.30	0.66	0.90	0.68	0.92	0.61	0.34	0.59	0.76	0.51	0.59	0.62	0.01	<0.001
		Spr-06	0.54	0.81	0.57	0.60	0.77	0.75	0.57	0.88	0.88	0.72	0.39	0.68	0.02	<0.001
		Mean	0.42	0.71	0.66	0.87	0.81	0.72	0.57	0.75	0.78	0.71	0.53	0.68		
Linares	1	Sum-04	0.57	0.92	0.63	0.62	1.02	0.60	0.57	0.46	0.35	0.72	0.48	0.62	0.03	0.001
		Fall-04	0.45	0.66	1.01	0.69	0.92	0.25	0.60	0.52	0.51	0.55	0.55	0.60	0.03	<0.001
		Win-05	0.84	0.90	0.98	0.53	1.19	0.72	0.86	0.69	0.77	1.03	1.02	0.86	0.02	<0.001
		Spr-05	0.61	0.83	0.71	0.91	0.45	0.66	0.55	0.49	0.59	0.86	0.62	0.66	0.02	<0.001
		Mean	0.62	0.82	0.83	0.67	0.92	0.57	0.65	0.54	0.57	0.79	0.64	0.69		
	2	Sum-05	0.67	0.67	0.76	0.82	1.24	1.06	0.99	0.67	0.85	0.65	0.53	0.81	0.02	<0.001
		Fall-05	0.77	0.93	1.24	0.78	0.98	0.61	1.07	1.17	0.68	1.21	0.56	0.91	0.02	<0.001
		Win-06	0.50	0.95	0.87	0.76	0.69	0.82	0.63	0.59	0.55	0.48	0.72	0.69	0.02	<0.001
		Spr-06	0.84	0.56	0.48	0.68	0.84	1.40	0.63	0.74	0.57	0.54	0.73	0.73	0.02	<0.001
		Mean	0.70	0.78	0.84	0.76	0.94	0.97	0.83	0.79	0.71	0.73	0.59	0.78		

Data are means from four independent measurements per plant species. *Croton cortesianus* (*Cro. cor.*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu. fru.*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar. hum.*), *Acacia rigidula* (*Aca. rig.*), *Bumelia celastrina* (*Bum. cel.*), *Prosopis laevigata* (*Pro. lae.*), *Celtis pallida* (*Cel. pal.*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan. fog.*), *Forestiera angustifolia* (*For. ang.*), *Lantana macropoda* (*Lan. mac.*) and *Castela erecta* (*Cas. ere.*). Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06 = Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. Means, standard errors (SE) and p-values are provided

Chlorophyll b content was significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons (Table 2). During the first year, at Los Ramones site (Table 6), chlorophyll b content in the shrub *A. rigidula* (summer) was lower (0.2 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) and in *L. frutescens* (summer) was higher (0.4). Moreover, in second year *A. rigidula* (winter) was lower (0.03) and *C. cortesianus* (spring) was higher (0.4). At China (Table 6) lower values (0.1) were detected in *C. texana* in spring and higher (0.6) in *L. macropoda* in spring too. During the second year, chlorophyll b content followed a similar pattern as the first year. At Linares (Table 6), during the first year, lower (0.1) and higher (0.6) values were observed in *F. angustifolia* and *L. frutescens* during summer 2004, respectively. Conversely, in the second year, *C. pallida* in winter 2005 was higher (0.1) and *K. humboldtiana* in autumn was lower (0.6). In all plants, annual and seasonal contents of chlorophyll b followed a similar trend as chlorophyll a; Linares was marginal high (0.29 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) than Los Ramones (0.25) or China (0.23).

It seems that during spring, summer and fall chlorophyll b (0.28 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) resulted higher than in winter (0.19). In general, Fabaceae species showed very similar (23 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) chlorophyll b content than non Fabaceae (0.26; Table 4). In addition, shrubs were very similar (0.26 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) than trees (0.24; Table 5).

With exception of interaction year\*plant species at China site, carotenoids content was significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons (Table 2). At Los Ramones site (Table 7), during the first year, lower (0.1 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) and higher (0.3 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) values were detected in *P. laevigata* (summer) and *K. humboldtiana* (fall), respectively. In second year, lower (0.1) and higher (0.4) values were observed in *A. rigidula* (spring) and *K. humboldtiana* (winter), respectively. During first year, at China (Table 7), *C. texana* (summer) and *K. humboldtiana* (winter) were lower (0.1) and higher (0.5), respectively. Moreover, in second year, *C. texana* (spring) was lower (0.03) and *K. humboldtiana* (winter) higher (0.5). In Linares

Table 4: Seasonal contents (mg g<sup>-1</sup> f.wt.) of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids at Los Ramones, China and Linares sites between native trees and shrubs belonging to the Fabaceae and non Fabaceae family

			Chlorophyll a			Chlorophyll b			Carotenoids				
Site	Year	Season	Fabaceae	Non Fabaceae	p-value	Fabaceae	Non Fabaceae	p-value	Fabaceae	Non Fabaceae	p-value		
Los Ramones	1	Sum-04	0.37	0.65	<0.001	0.26	0.33	0.006	0.09	0.17	<0.001		
		Fall-04	0.71	0.66	0.264	0.26	0.24	0.353	0.24	0.22	0.197		
		Win-05	0.74	0.79	0.531	0.24	0.24	0.642	0.21	0.23	0.143		
		Spr-05	0.89	0.70	<0.001	0.24	0.27	0.126	0.20	0.19	0.824		
	2	Sum-05	0.60	0.67	0.136	0.20	0.23	0.054	0.17	0.16	0.316		
		Fall-05	0.85	0.68	<0.001	0.23	0.24	0.365	0.23	0.21	0.026		
		Win-06	0.73	0.54	<0.001	0.12	0.12	0.531	0.24	0.23	0.158		
		Spr-06	0.56	0.59	0.256	0.24	0.25	0.600	0.11	0.14	0.012		
		China	1	Sum-04	0.74	0.65	0.120	0.25	0.32	0.002	0.16	0.17	0.046
Fall-04	0.90			0.71	0.009	0.29	0.29	0.940	0.25	0.20	0.001		
Win-05	0.84			0.75	0.215	0.22	0.22	0.843	0.23	0.24	0.442		
Spr-05	0.93			0.71	<0.001	0.24	0.29	0.018	0.22	0.20	0.173		
2	Sum-05		0.99	0.65	<0.001	0.22	0.25	0.109	0.22	0.17	<0.001		
	Fall-05		0.87	0.68	<0.001	0.24	0.26	0.104	0.25	0.21	0.001		
	Win-06		0.64	0.62	0.562	0.07	0.13	<0.001	0.23	0.24	0.765		
	Spr-06		0.68	0.68	0.957	0.22	0.29	0.006	0.17	0.14	0.024		
	Linares		1	Sum-04	0.61	0.63	0.683	0.19	0.32	<0.001	0.17	0.14	0.014
				Fall-04	0.47	0.63	0.021	0.28	0.27	0.872	0.20	0.19	0.823
Win-05		0.62		0.92	<0.001	0.22	0.28	0.001	0.17	0.26	<0.001		
Spr-05		0.79		0.64	0.004	0.29	0.30	0.739	0.23	0.18	0.001		
2		Sum-05	0.95	0.78	0.001	0.25	0.26	0.543	0.20	0.18	0.028		
		Fall-05	0.69	0.96	<0.001	0.23	0.39	<0.001	0.27	0.27	0.867		
		Win-06	0.79	0.67	0.023	0.19	0.15	0.022	0.24	0.22	0.209		
		Spr-06	1.04	0.66	<0.001	0.31	0.29	0.125	0.21	0.17	0.061		

Fabaceae plant species: *Acacia rigidula* and *Prosopis laevigata*. Non Fabaceae plant species: *Croton cortesianus*, *Leucophyllum frutescens*, *Karwinskia humboldtiana*, *Bumelia celastrina*, *Celtis pallida*, *Zanthoxylum fagara*, *Forestiera angustifolia*, *Lantana macropoda* and *Castela erecta*. Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06 = Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. Mean and p-values of the t-test are provided

Table 5: Seasonal contents (mg g<sup>-1</sup> f.wt.) of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids at Los Ramones, China and Linares sites between native plant species grouped as shrubs and trees

			Chlorophyll a			Chlorophyll b			Carotenoids				
Site	Year	Season	Shrubs	Trees	p-value	Shrubs	Trees	p-value	Shrubs	Trees	p-value		
Los Ramones	1	Sum-04	0.59	0.60	0.611	0.31	0.34	0.076	0.16	0.15	0.440		
		Fall-04	0.63	0.76	0.001	0.25	0.24	0.548	0.21	0.23	0.235		
		Win-05	0.78	0.77	0.810	0.24	0.24	0.657	0.22	0.23	0.777		
	2	Spr-05	0.68	0.87	<0.001	0.25	0.29	0.021	0.19	0.21	0.174		
		Sum-05	0.62	0.74	0.005	0.22	0.24	0.035	0.16	0.17	0.279		
		Fall-05	0.69	0.77	0.018	0.24	0.23	0.269	0.21	0.21	0.912		
		Win-06	0.56	0.61	0.279	0.14	0.08	<0.001	0.22	0.27	<0.001		
		Spr-06	0.58	0.61	0.259	0.27	0.20	<0.001	0.13	0.13	0.857		
		Sum-04	0.61	0.81	<0.001	0.33	0.26	0.001	0.17	0.19	0.045		
China	1	Fall-04	0.70	0.85	0.023	0.28	0.32	0.338	0.20	0.22	0.050		
		Win-05	0.79	0.72	0.108	0.23	0.18	<0.001	0.25	0.21	0.004		
		Spr-05	0.75	0.75	0.503	0.29	0.24	0.001	0.21	0.19	0.165		
	2	Sum-05	0.70	0.73	0.762	0.26	0.21	0.002	0.18	0.19	0.519		
		Fall-05	0.69	0.80	0.005	0.25	0.27	0.216	0.21	0.23	0.018		
		Win-06	0.59	0.71	0.001	0.13	0.11	0.061	0.23	0.25	0.132		
		Spr-06	0.63	0.80	<0.001	0.28	0.27	0.697	0.14	0.18	0.001		
		Linares	1	Sum-04	0.61	0.67	0.156	0.32	0.24	0.009	0.14	0.17	0.042
				Fall-04	0.61	0.56	0.305	0.29	0.23	0.061	0.19	0.20	0.408
Win-05	0.86			0.87	0.998	0.27	0.26	0.121	0.25	0.23	0.075		
2	Spr-05		0.71	0.54	<0.001	0.30	0.29	0.682	0.20	0.16	0.011		
	Sum-05		0.74	0.99	<0.001	0.25	0.30	0.012	0.18	0.22	<0.001		
	Fall-05		0.91	0.92	0.830	0.37	0.35	0.247	0.27	0.28	0.380		
		Win-06	0.68	0.70	0.686	0.17	0.13	0.022	0.21	0.24	0.067		
		Spr-06	0.63	0.99	<0.001	0.27	0.37	<0.001	0.16	0.23	0.001		

Shrub plant species: *Acacia rigidula*, *Croton cortesianus*, *Leucophyllum frutescens*, *Karwinskia humboldtiana*, *Celtis pallida*, *Forestiera angustifolia*, *Lantana macropoda* and *Castela erecta*. Tree plant species: *Bumelia celastrina*, *Prosopis laevigata* and *Zanthoxylum fagara*. Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06 = Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. Mean and p-values of the t-test are provided

Table 6: Seasonal contents (mg g<sup>-1</sup> f.wt.) of chlorophyll b at Los Ramones, China and Linares sites in eleven native trees and shrubs

Site	Year	Season	Plant species											Mean	SE	p-value
			<i>Cro. cor.</i>	<i>Leu. fru.</i>	<i>Kar. hum.</i>	<i>Aca. rig.</i>	<i>Bum. cel.</i>	<i>Pro. lae.</i>	<i>Cel. pal.</i>	<i>Zan. fag.</i>	<i>For. ang.</i>	<i>Lan. mac.</i>	<i>Cas. ere.</i>			
Los Ramones	1	Sum-04	0.34	0.40	0.29	0.15	0.35	0.37	0.26	0.30	0.31	0.38	0.32	0.32	0.01	<0.001
		Fall-04	0.24	0.28	0.28	0.34	0.30	0.19	0.23	0.30	0.21	0.20	0.21	0.25	0.01	0.002
		Win-05	0.17	0.26	0.24	0.25	0.27	0.22	0.23	0.22	0.32	0.23	0.25	0.24	0.01	0.003
		Spr-05	0.30	0.22	0.29	0.22	0.27	0.26	0.19	0.33	0.22	0.34	0.23	0.26	0.01	<0.001
		Mean	0.26	0.29	0.28	0.24	0.28	0.26	0.23	0.29	0.27	0.28	0.25	0.26		
	2	Sum-05	0.23	0.21	0.22	0.19	0.26	0.22	0.28	0.24	0.19	0.20	0.20	0.22	0.01	0.008
		Fall-05	0.22	0.20	0.30	0.25	0.23	0.20	0.28	0.25	0.17	0.32	0.20	0.24	0.01	0.001
		Win-06	0.17	0.15	0.12	0.15	0.18	0.09	0.06	0.01	0.23	0.13	0.16	0.12	0.01	<0.001
		Spr-06	0.41	0.24	0.28	0.30	0.20	0.18	0.22	0.21	0.24	0.27	0.19	0.25	0.01	<0.001
		Mean	0.26	0.20	0.23	0.22	0.21	0.17	0.20	0.16	0.21	0.23	0.19	0.21		
China	1	Sum-04	0.27	0.46	0.42	0.25	0.28	0.25	0.28	0.25	0.36	0.43	0.18	0.31	0.01	<0.001
		Fall-04	0.23	0.31	0.31	0.31	0.28	0.27	0.35	0.41	0.28	0.33	0.16	0.29	0.02	0.266
		Win-05	0.25	0.24	0.29	0.24	0.17	0.19	0.30	0.18	0.16	0.23	0.16	0.22	0.01	<0.001
		Spr-05	0.33	0.26	0.32	0.26	0.26	0.23	0.22	0.22	0.25	0.59	0.15	0.28	0.01	<0.001
		Mean	0.27	0.31	0.33	0.27	0.25	0.23	0.29	0.27	0.26	0.38	0.16	0.27		
	2	Sum-05	0.32	0.28	0.24	0.26	0.20	0.19	0.28	0.24	0.29	0.22	0.16	0.24	0.01	<0.001
		Fall-05	0.26	0.26	0.22	0.31	0.31	0.16	0.23	0.34	0.21	0.33	0.21	0.26	0.01	<0.001
		Win-06	0.07	0.18	0.20	0.09	0.18	0.06	0.11	0.08	0.21	0.14	0.05	0.12	0.01	<0.001
		Spr-06	0.30	0.43	0.29	0.24	0.24	0.19	0.21	0.38	0.25	0.24	0.28	0.28	0.01	<0.001
		Mean	0.24	0.29	0.23	0.23	0.23	0.15	0.21	0.26	0.24	0.23	0.16	0.22		
Linares	1	Sum-04	0.40	0.64	0.30	0.24	0.40	0.15	0.36	0.19	0.14	0.31	0.21	0.30	0.01	<0.001
		Fall-04	0.31	0.17	0.34	0.36	0.21	0.19	0.34	0.27	0.18	0.36	0.23	0.28	0.01	0.016
		Win-05	0.25	0.29	0.35	0.25	0.37	0.19	0.26	0.20	0.21	0.30	0.29	0.27	0.01	<0.001
		Spr-05	0.28	0.45	0.33	0.28	0.30	0.30	0.22	0.27	0.27	0.35	0.23	0.30	0.01	0.002
		Mean	0.30	0.39	0.34	0.28	0.33	0.22	0.29	0.23	0.20	0.33	0.24	0.29		
	2	Sum-05	0.33	0.26	0.26	0.24	0.36	0.26	0.31	0.24	0.23	0.19	0.15	0.26	0.01	<0.001
		Fall-05	0.37	0.38	0.56	0.27	0.46	0.19	0.44	0.40	0.25	0.35	0.34	0.36	0.01	<0.001
		Win-06	0.14	0.34	0.19	0.18	0.10	0.20	0.07	0.09	0.10	0.19	0.12	0.16	0.01	<0.001
		Spr-06	0.32	0.21	0.28	0.24	0.38	0.39	0.35	0.35	0.29	0.27	0.19	0.30	0.01	<0.001
		Mean	0.29	0.30	0.32	0.23	0.33	0.26	0.29	0.27	0.22	0.25	0.20	0.27		

Data are means from four independent measurements per plant species. *Croton cortesianus* (*Cro. cor.*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu. fru.*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar. hum.*), *Acacia rigidula* (*Aca. rig.*), *Bumelia celastrina* (*Bum. cel.*), *Prosopis laevigata* (*Pro. lae.*), *Celtis pallida* (*Cel. pal.*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan. fag.*), *Forestiera angustifolia* (*For. ang.*), *Lantana macropoda* (*Lan. mac.*) and *Castela erecta* (*Cas. ere.*). Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06 = Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. Means, Standard Errors (SE) and p-values are provided

Table 7: Seasonal contents (mg g<sup>-1</sup> f.wt.) of carotenoids at Los Ramones, China and Linares sites in eleven native trees and shrubs

Site	Year	Season	Plant species											Mean	SE	p-value
			<i>Cro. cor.</i>	<i>Leu. fru.</i>	<i>Kar. hum.</i>	<i>Aca. rig.</i>	<i>Bum. cel.</i>	<i>Pro. lae.</i>	<i>Cel. pal.</i>	<i>Zan. fag.</i>	<i>For. ang.</i>	<i>Lan. mac.</i>	<i>Cas. ere.</i>			
Los Ramones	1	Sum-04	0.15	0.15	0.24	0.10	0.17	0.07	0.17	0.20	0.14	0.16	0.13	0.16	0.01	<0.001
		Fall-04	0.16	0.18	0.31	0.28	0.22	0.21	0.23	0.29	0.24	0.18	0.17	0.22	0.01	0.001
		Win-05	0.20	0.15	0.27	0.24	0.24	0.18	0.28	0.27	0.23	0.23	0.22	0.23	0.01	0.001
		Spr-05	0.20	0.16	0.30	0.17	0.19	0.23	0.17	0.20	0.18	0.21	0.13	0.20	0.01	<0.001
		Mean	0.18	0.16	0.28	0.20	0.21	0.18	0.22	0.24	0.20	0.20	0.16	0.20		
	2	Sum-05	0.16	0.11	0.23	0.22	0.18	0.12	0.21	0.20	0.13	0.12	0.11	0.16	0.01	<0.001
		Fall-05	0.19	0.15	0.23	0.27	0.21	0.18	0.20	0.24	0.17	0.26	0.19	0.21	0.01	<0.001
		Win-06	0.15	0.16	0.37	0.28	0.21	0.21	0.23	0.37	0.21	0.13	0.18	0.23	0.01	<0.001
		Spr-06	0.13	0.11	0.18	0.09	0.14	0.13	0.15	0.12	0.13	0.17	0.11	0.13	0.01	0.001
		Mean	0.16	0.13	0.25	0.21	0.18	0.16	0.20	0.24	0.16	0.17	0.15	0.18		
China	1	Sum-04	0.14	0.13	0.41	0.13	0.15	0.19	0.17	0.21	0.09	0.19	0.09	0.17	0.01	<0.001
		Fall-04	0.10	0.19	0.31	0.25	0.15	0.24	0.18	0.27	0.22	0.18	0.13	0.20	0.01	<0.001
		Win-05	0.25	0.21	0.46	0.25	0.18	0.21	0.23	0.24	0.23	0.21	0.16	0.24	0.01	<0.001
		Spr-05	0.15	0.15	0.30	0.21	0.18	0.23	0.19	0.17	0.20	0.36	0.11	0.20	0.01	<0.001
		Mean	0.16	0.17	0.37	0.21	0.16	0.22	0.20	0.22	0.19	0.23	0.12	0.21		
	2	Sum-05	0.10	0.14	0.25	0.25	0.16	0.19	0.21	0.20	0.20	0.17	0.14	0.18	0.01	<0.001
		Fall-05	0.11	0.18	0.28	0.27	0.21	0.22	0.22	0.26	0.18	0.23	0.17	0.21	0.01	<0.001
		Win-06	0.13	0.20	0.49	0.26	0.24	0.21	0.16	0.29	0.20	0.18	0.24	0.24	0.01	<0.001
		Spr-06	0.10	0.10	0.23	0.14	0.14	0.21	0.14	0.19	0.20	0.15	0.03	0.15	0.01	<0.001
		Mean	0.11	0.16	0.31	0.23	0.19	0.21	0.18	0.24	0.19	0.18	0.15	0.20		
Linares	1	Sum-04	0.03	0.15	0.18	0.21	0.21	0.14	0.12	0.14	0.12	0.19	0.11	0.15	0.01	<0.001
		Fall-04	0.12	0.23	0.28	0.20	0.24	0.19	0.21	0.18	0.18	0.17	0.12	0.19	0.01	0.001
		Win-05	0.22	0.24	0.36	0.15	0.30	0.19	0.26	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.01	<0.001
		Spr-05	0.16	0.16	0.28	0.25	0.10	0.21	0.17	0.18	0.18	0.21	0.16	0.19	0.01	<0.001
		Mean	0.14	0.20	0.28	0.20	0.21	0.18	0.19	0.18	0.19	0.21	0.16	0.19		

Table 7: Continued

Site	Year	Season	Plant species											Mean	SE	p-value
			<i>Cro. cor.</i>	<i>Leu. fru.</i>	<i>Kar. hum.</i>	<i>Aca. rig.</i>	<i>Bum. cel.</i>	<i>Pro. lae.</i>	<i>Cel. pal.</i>	<i>Zan. fag.</i>	<i>For. ang.</i>	<i>Lan. mac.</i>	<i>Cas. ere.</i>			
2		Sum-05	0.14	0.13	0.24	0.19	0.26	0.22	0.22	0.17	0.20	0.16	0.13	0.19	0.01	<0.001
		Fall-05	0.21	0.22	0.51	0.29	0.28	0.25	0.29	0.31	0.22	0.23	0.20	0.27	0.01	<0.001
		Win-06	0.17	0.27	0.35	0.24	0.27	0.23	0.17	0.21	0.17	0.14	0.20	0.22	0.01	<0.001
		Spr-06	0.20	0.15	0.23	0.17	0.22	0.25	0.12	0.21	0.18	0.13	0.11	0.18	0.01	0.013
		Mean	0.18	0.19	0.32	0.22	0.26	0.24	0.20	0.23	0.19	0.16	0.16	0.21		

Data are means from four independent measurements per plant species. *Croton cortesianus* (*Cro. cor.*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu. fru.*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar. hum.*), *Acacia rigidula* (*Aca. rig.*), *Bumelia celastrina* (*Bum. cel.*), *Prosopis laevigata* (*Pro. lae.*), *Celtis pallida* (*Cel. pal.*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan. fag.*), *Forestiera angustifolia* (*For. ang.*), *Lantana macropoda* (*Lan. mac.*) and *Castela erecta* (*Cas. ere.*). Sum-04 = Summer 2004; Win-05 = Winter 2005; Spr-05 = Spring 2005; Sum-05 = Summer 2005; Win-06 = Winter 2006; Spr-06 = Spring 2006. Means, Standard Errors (SE) and p-values are provided

(Table 7), during the first year, minimum (0.03) and maximum (0.4) concentrations were registered in *C. cortesianus* (summer) and *K. humboldtiana* (winter). During second year, *C. texana* (spring) was lower (0.1) and *K. humboldtiana* (fall) was higher (0.5). Low marginal differences were found in all plants among research sites being the overall mean of 0.20 mg carotenoids g<sup>-1</sup> f.wt.

It appears that during fall (0.22 mg g<sup>-1</sup> f.wt.) and winter (0.23) carotenoids was higher than summer (0.17) or spring (0.17). In general, it appears that Fabaceae and non Fabaceae species showed similar (0.20 mg g<sup>-1</sup> f.wt.; Table 4) carotenoids content. In addition, shrubs resulted similar than trees (0.20; Table 5).

## DISCUSSION

Chlorophylls and carotenoids absorb light energy and transfer it into the photosynthetic apparatus of leaves; therefore, determinations of leaf pigments content can provide a valuable tool to integrate and understand the physiological and biochemical function of leaves (Sims and Gamon, 2002). Results of this study suggest that chlorophylls a and b and carotenoids content of plant species varied between years, seasons and between plants within years and seasons. This finding confirm the importance to address research on these native plants, with ecological and forage potential value, in order to understand the function that, plant pigments, may play in ecosystem productivity and the influence of drought and extreme temperatures that prevails during winter and summer seasons in this region (González *et al.*, 2000).

It has been established that productivity of higher plants is mediated by leaves and adaptations of plants to the environment involve leaf traits (Valladares *et al.*, 2000). Native vegetation in Northeastern Mexico, composed mainly by shrubs and small trees, is characterized by low biomass productivity (about 3.2 kg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>; Villalón, 1989) because during dry seasons native plants have to deal with soil water deficits, high temperatures and high irradiance levels (González *et al.*, 2004). Furthermore, these plants have low

tissue water potential because are exposed to low temperatures (-3 to 5°C) during winter and dry and warm whether in spring and summer seasons (González *et al.*, 2000, 2004). Under such environmental conditions, photosynthesis may be limited by temperature, stomatal control and light energy damage. In addition, chlorophylls content and the chlorophyll a/b ratio, in some plants, are affected by temperature (Ottander *et al.*, 1995) and prevailing shade characteristics (Castrillo *et al.*, 2001).

Schlerf *et al.* (2003) studied seasonality of pigments in spruce needles; however, they found higher values than those found in this study. It has been suggested that variation of pigments could be related to phenological phases of plant species such a flowering and production of sprouts (Arthur *et al.*, 1987). Other studies have revealed that loss of pigment content might have been associated with reduction in nitrogen flux into leaf tissue, alterations in the activity of enzyme systems such as nitrate reductase (Morilla *et al.*, 1973) or nitrogenase in legumes (Engin and Sprent, 1973). In this study, Fabaceae species showed higher content in chlorophyll a than non Fabaceae species (Table 4). Differences might have related to the capability of symbiotic nitrogen fixation potential of *A. rigidula* and *P. laevigata* (Zitzer *et al.*, 1996) since these species achieved higher leaf nitrogen content (1.7% dry mass) than non Fabaceae (1.4%) (unpublished nitrogen analyses results of studied species). It is clear that nitrogen is an essential element of the chlorophyll structure (Goodwin and Mercer, 1988). Similarly, other studies have also shown higher content of chlorophyll in Fabaceae than non Fabaceae (Northup *et al.*, 2005; Hughes *et al.*, 2007). In this study, however, chlorophyll b and carotenoids contents remained the same across families.

In this study, chlorophylls in all plants were higher than carotenoids. Moreover, a significant positive linear relationship was found between carotenoids and chlorophyll a content (Fig. 1). Chlorophyll a content explained about 32% (China; (p<0.001), 39% (Los Ramones; (p<0.001) and 45% (Linares; (p<0.001) of the total seasonality of carotenoids. These finding are in



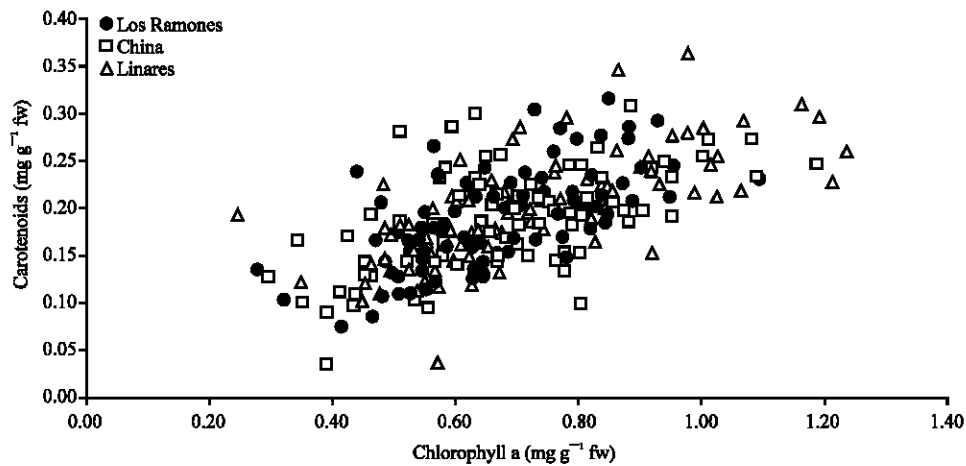


Fig. 1: Relationship between leaf carotenoids content and chlorophyll a for all leaf tissue samples in 11 native trees and shrubs at four sampling seasons and two consecutive years. Plotted data points are means from four independent measurements per plant species per season per year

agreement with Sims and Gamon (2002), who studied the relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of plant species. Relationships between carotenoids and chlorophyll a content included a range of healthy leaves and stressed leaf tissue due to drought and extreme temperatures (Table 1). During winter of 2006 a temperature of  $-5^{\circ}\text{C}$  was registered in the region causing a reduction of chlorophyll b content at the three sites. However, the seasonal pattern of chlorophyll a content was more variable than chlorophyll b or carotenoids in all plants.

Evaluated plants are characterized by a wide range of taxonomic groups exhibiting differences in growth patterns, leaf life spans, textures, growth dynamics and phenological development (Reid *et al.*, 1990; McMurtry *et al.*, 1996; Northup *et al.*, 1996). In general, tree species had higher contents of chlorophyll a than shrubs. In contrast, contents of chlorophyll b and carotenoids did not differ among growth forms. Perennial plants such as *Bumelia celastrina*, *Celtis pallida*, *Karwinskia humboldtiana* and *Zanthoxylum fagara* had higher (mean =  $0.7 \text{ mg g}^{-1} \text{ f.wt.}$ ) chlorophyll a than deciduous species such as *Forestiera angustifolia*, *Castela texana* and *Croton cortesianus* ( $0.6$ ). Variations in chlorophyll content between plants have been related to leaf development and senescence (Gamon and Surfus, 1999; Carter and Knapp, 2001). Furthermore, Valladares *et al.* (2000) reported that chlorophyll content was higher in shade leaves than sun leaves, whereas carotenoids content and nonphotochemical quenching increased with light. In addition, Niinemets (1997) argued that decreased solar irradiance enhanced chlorophyll synthesis.

Studies on carotenoids composition of sun leaves of plants with different life forms have revealed that sun leaves contained greater amounts of the components of the xanthophyll cycle violaxanthin, antheraxanthin and zeaxanthin as well as of  $\beta$ -carotene than the shade leaves (Demmig-Adams and Adams, 1992). However, in the present study, it remains unclear whether lower or higher chlorophyll content at a given season is related to shade or sun leaves, since a pooled leaf sample was taken from each individual species. Kyparissis *et al.* (1995) have indicated that reduction of chlorophylls does not result from severe photoinhibitory damage, instead, it may be an adaptive response against the adverse conditions of the Mediterranean summer. This rationale could be extended to Northeastern Mexico ecosystems, since water availability, as in Mediterranean field conditions (Kyparissis *et al.*, 2000; Valladares *et al.*, 2000; Oliveira and Peñuelas, 2001), is the most limiting factor controlling plant growth, survival and distribution in dry climates (Newton and Goodin, 1989). In this study, even though, there was not a clear relationship between pigment content and seasonal mean temperatures and rainfall, the great diversity of native plants in Northeastern Mexico reflects the plasticity of how trees and shrubs species deal with seasonal water deficits, extreme temperatures (frost or heat) and excessive irradiance levels as main multiple stresses that may co-occur either during the winter or summer seasons.

## IMPLICATIONS

Results of the present study suggest that, even though, all plants differed in pigment content and

followed a seasonal pattern, during adequate or adverse conditions such as extreme temperatures and water shortages, they still could play important roles in maintaining the productivity of dry rangeland ecosystems. However, studies on leaf tissue at morphological, anatomical, biophysical, biochemical, physiological and molecular level should be addressed to elucidate the underlying mechanisms employed by these trees and shrubs to adapt to this ecosystem and to deal with prolonged drought periods, high temperatures and high irradiance levels, with the purpose to identify fundamental mechanisms that increase or reduce pigment concentration and how they are related to photochemical efficiency, photoinhibition and tissue water relations. These questions could be focused at both leaf and chloroplast (thylakoid) level. Thus, thornscrub ecosystems in Northeastern Mexico provide a good opportunity to investigate the ecophysiology and photoprotective capacity of native trees and shrubs that traditionally have been used as a forage source for domestic livestock and wildlife.

#### ACKNOWLEDGMENTS

Valuable technical assistance provided by Elsa Dolores González, Elizabeth Rodríguez and María Inés Yañez is gratefully recognized. This research was funded in part by Universidad Autónoma de Nuevo Leon (PAICYT grants CN905-04 and CN133-05) and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, Doctoral Scholarship). We wish to thank four anonymous reviewers for their valuable comments on the manuscript.

#### REFERENCES

- Arthur, R.T., M.E. Durant and D.C. Freeman, 1987. Variations in physiological metabolites and chlorophyll in sexual phenotypes of rincon fourwing saltbush. *J. Range Manage.*, 40 (2): 151-155.
- Biswal, B., 1995. Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 30 (1): 3-13.
- Britton, G., 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB J.*, 9 (15): 1551-1558.
- Carter, G.A. and A.K. Knapp, 2001. Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *Am. J. Bot.*, 88 (4): 677-684.
- Castrillo, M., D. Vizcaino, E. Moreno and Z. Latorraca, 2001. Chlorophyll content in some cultivated and wild species of the family Lamiaceae. *Biol. Plant.*, 44 (3): 423-425.
- Demmig-Adams, B. and W.W. Adams, 1992. Carotenoid composition in sun and shade leaves of plants with different life forms. *Plant Cell Environ.*, 15 (4): 411-419.
- Engin, M. and J.I. Sprent, 1973. Effect of water stress on growth and nitrogen-fixing activity of *Trifolium repens*. *New Phytol.*, 72 (1): 117-126.
- Fulbright, T.E., J.P. Reynolds, S.L. Beasom and S. Demarais, 1991. Mineral content of guajillo regrowth following roller chopping. *J. Range Manage.*, 44 (5): 520-522.
- Gamon, J.A. and J.S. Surfus, 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytol.*, 143 (1): 105-117.
- Gitelson, A.A., Y. Zur, O.B. Chivkunova and M.N. Merzlyak, 2002. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochem. Photobiol.*, 75 (3): 272-281.
- González, R.H., S.I. Cantú, M.M.V. Gómez and W.R. Jordan, 2000. Seasonal plant water relationships in *Acacia berlandieri*. *Arid Soil Res. Rehabil.*, 14 (4): 343-357.
- González, R.H., S.I. Cantú, M.M.V. Gómez and L.R.G. Ramírez, 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, Northeastern Mexico. *J. Arid Environ.*, 58 (4): 483-503.
- Goodwin, T.W. and E.I. Mercer, 1988. Introduction to Plant Biochemistry. 2nd Edn. Pergamon Press, New York, pp: 677.
- Hughes, N.M., C.B. Morley and W.K. Smith, 2007. Coordination of anthocyanin decline and photosynthetic maturation in juvenile leaves of three deciduous tree species. *New Phytol.*, 175 (4): 675-685.
- Kyparissis, A., Y. Petropoulou and Y. Manetas, 1995. Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa* L., Labiatae) under Mediterranean field conditions: Avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. *J. Exp. Bot.*, 46 (12): 1825-1831.
- Kyparissis, A., P. Drilias and Y. Manetas, 2000. Seasonal fluctuations in photoprotective (*Xanthophyll cycle*) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms. *Aust. J. Plant Physiol.*, 27 (3): 265-272.
- Lichtenthaler, H.K. and A.R. Wellburn, 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.*, 11 (3): 591-592.

- McMurtry, C.R., P.W. Barnes, J.A. Nelson and S.R. Archer, 1996. Physiological responses of woody vegetation to irrigation in a Texas subtropical savanna. La Copita Research Area: Consolidated Progress Report. Texas Agricultural Experiment Station-Corpus Christi, Texas A and M University System, College Station, TX, pp: 33-37.
- Morilla, C.A., J.S. Boyer and R.H. Hageman, 1973. Nitrate reductase activity and polyribosomal content of corn (*Zea mays* L.) having low leaf water potentials. *Plant Physiol.*, 51 (5): 817-824.
- Newton, R.J. and J.R. Goodin, 1989. Moisture Stress Adaptation in Shrubs. In: *The Biology and Utilization of Shrubs*, McKell, C.M. (Ed.). Academic Press Inc. San Diego, CA, pp: 365-383.
- Niinemets, Ü., 1997. Role of foliar nitrogen in light harvesting and shade tolerance of four temperate deciduous woody species. *Funct. Ecol.*, 11 (4): 518-531.
- Northup, B.K., S.F. Zitzer, S.R. Archer and T.W. Boutton, 1996. A technique to allocate biomass of woody plants. La Copita Research Area: 1996 Consolidated Progress Report. Texas Agricultural Experiment Station-Corpus Christi, Texas A and M University System, College Station, TX, pp: 47-50.
- Northup, B.K., S.F. Zitzer, S.R. Archer, C.R. McMurtry and T.W. Boutton, 2005. Above-ground biomass and carbon and nitrogen content of woody species in a subtropical thornscrub parkland. *J. Arid Environ.*, 62 (1): 23-43.
- Oliveira, G. and J. Peñuelas, 2001. Allocation of absorbed light energy into photochemistry and dissipation in a semi-deciduous and evergreen Mediterranean woody species during winter. *Aust. J. Plant Physiol.*, 28 (6): 471-480.
- Ottander, C., D. Campbell and G. Öquist, 1995. Seasonal changes in photosystem II organisation and pigment composition in *Pinus sylvestris*. *Planta*, 197 (1): 176-183.
- Ramírez, R.G., 1999. Feed resources and feeding techniques of small ruminants under extensive management conditions. *Small Rum. Res.*, 34 (3): 215-230.
- Reid, N., J. Marroquín and P. Beyer-Münzel, 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, Northeastern Mexico. *For. Ecol. Manage.*, 36 (1): 61-79.
- Schlerf, M., C. Atzberger, T. Udelhoven, T. Jarmer, S. Mader, W. Werner and J. Hill, 2003. Spectrometric estimation of leaf pigments in Norway spruce needles using band-depth analysis, partial least-square regression and inversion of a conifer leaf model. Presented at the 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching, pp: 1-10.
- Sims, D.A. and J.A. Gamon, 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structure and developmental stages. *Remote Sens. Environ.*, 81 (2-3): 337-354.
- SPP-INEGI, 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. México, D.F.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie, 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd Edn. McGraw-Hill, New York, pp: 632.
- Valladares, F., E. Martínez-Ferri, L. Balaguer, E. Pérez-Corona and E. Manrique, 2000. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: A conservative resource-use strategy. *New Phytol.*, 148 (1): 79-91.
- Villalón, H.M., 1989. Ein Beitrag zur Verwertung von Biomasseproduktion und deren Qualität für die forst-und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Gemeinde Linares, N.L., Mexiko. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, 39: 165.
- Yeum, K.J. and R.M. Russell, 2002. Carotenoid bioavailability and bioconversion. *Ann. Rev. Nut.*, 22 (1): 483-504.
- Young, A. and G. Britton, 1993. Carotenoid in Photosynthesis. 1st Edn. Chapman and Hall, London, pp: 498.
- Zitzer, S.F., S.R. Archer and T.W. Boutton, 1996. Spatial variability in the potential for symbiotic N<sub>2</sub> fixation by woody plants in a subtropical savanna ecosystem. *J. Applied Ecol.*, 33 (5): 1125-1136.

## 1. RESUMEN

Con el propósito de evaluar las características fisiológicas y nutrimentales de plantas forrajeras nativas de la flora del noreste de México, se localizaron tres sitios de muestreo localizados en los municipios de Los Ramones, China y Linares, en el estado de Nuevo León. La estructura de la vegetación se midió en tres transectos (50m x 5m) localizados al azar en cada sitio. Además, durante dos años consecutivos (agosto 2004 a mayo 2006), se determinó estacionalmente, en los mismos sitios, el contenido de clorofila **a**, **b**, y carotenoides<sub>(x + c)</sub>, Ca, Mg, K, N, P, Cu, Fe, Mn, y Zn en hojas de árboles (A) y arbustos (a) como: *Acacia rigidula* (a), *Bumelia celastrina* (A), *Castela texana* (a), *Celtis pallida* (a), *Croton cortesianus* (a), *Forestiera angustifolia* (a), *Karwinskia humboldtiana* (a), *Lantana macropoda* (a), *Leucophyllum frutescens* (a), *Prosopis laevigata* (A) y *Zanthoxylum fagara* (A). Asimismo, se caracterizaron los potenciales hídricos ( $\Psi$ ) en 10 de las especies (excepto *Croton cortesianus*) bajo condiciones de sequía y suficiente humedad disponible, solo en Los Ramones y Linares y en dos fechas de muestreo; la primera bajo condiciones de sequía y la segunda con alta humedad disponible. Se registraron 1741 especies en los 9 transectos, pertenecientes en su mayoría a las familias Fabaceae (10), Euphorbiaceae (4), Rhamnaceae (4), Rutaceae (3) y Cactaceae (2). Las especies más frecuentes fueron: *Acacia rigidula* (255 individuos), *Viguiera stenoloba* (171), *Havardia pallens* (167), *Karwinskia humboldtiana* (132), *Forestiera angustifolia* y *Castela texana* (125). Con excepción de la interacción

año\*especie para el contenido de carotenoides en Los Ramones, todos las variables fueron significativamente diferentes entre años, estaciones y entre plantas dentro de años y estaciones. Todas las especies mostraron el contenido de clorofila **a** más alto en Linares (promedio general = 0.79 miligramos por gramo de peso fresco) que en China (0.71) o en Los Ramones (0.66). El contenido de clorofila **b** siguió una tendencia similar al de clorofila **a** (0.29, 0.25 y 0.23, respectivamente). Diferencias marginales en el contenido de carotenoides, en todas las plantas, fueron encontradas entre los sitios con un promedio general de 0.2 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco. Todos los minerales fueron significativamente diferentes entre años, estaciones y entre plantas dentro de años y estaciones. A pesar de dichas diferencias, las arbustivas presentaron niveles adecuados Ca, N, Mg, K, Fe y Mn para cubrir las demandas de rumiantes en pastoreo por estos minerales. Sin embargo, P, Zn y Cu fueron deficientes a lo largo del año. Las especies con los potenciales hídricos más altos fueron *Lantana macropoda* (-0.35 MPa; Linares), *Karwinskia humboldtiana* (-0.52), *Forestiera angustifolia* y *Lantana macropoda* ambas con -0.55 (Los Ramones). El factor más relacionado al cambio en la concentración de pigmentos vegetales y macro y micro minerales en las plantas fue las estaciones del año. Al parecer los valores registrados del potencial hídrico de las plantas al parecer estuvieron asociados a las diferencias en los componentes de demanda evaporativa atmosférica.

## ABSTRACT

With the aim to evaluate the physiological and nutritional characteristics of native browse species growing in northeastern México, there were used three collection sites located at the counties Los Ramones, China and Linares of the state of Nuevo León, México. The structure of vegetation was measured on three transects (50m x 5m) randomly located in each site. In addition, during two consecutive years (august 2004 to may 2006), the chlorophyll a, b, carotenoids<sub>(x + c)</sub>, Ca, Mg, K, N, P, Cu, Fe, Mn, y Zn were measured, seasonally, in leaves of trees (T) and shrubs (S) such as *Acacia rigidula* (S), *Bumelia celastrina* (T), *Castela texana* (S), *Celtis pallida* (S), *Croton cortesianus* (S), *Forestiera angustifolia* (S), *Karwinskia humboldtiana* (S), *Lantana macropoda* (S), *Leucophyllum frutescens* (S), *Prosopis laevigata* (T), *Zanthoxylum fagara* (T). Moreover, the water potentials ( $\Psi$ , MPa) were determined in 10 species (except *Croton cortesianus*), under conditions of drought and sufficient humidity available, only in Los Ramones and Linares counties and two dates of sampling; first under conditions of drought and second with high humidity available. A total of 1741 woody plant were registered in nine transects established in the three sampling sites. Individuals found belong to 20 Families, Fabaceae Family species (10), Euphorbiaceae and Rhamnaceae (4), Rutaceae (3) and Cactaceae (2). The most frequent species (registered in the three sampling sites) were: *Acacia rigidula* (255), *Viguiera stenoloba* (171), *Havardia pallens*

(167), *Karwinskia humboldtiana* (132), *Forestiera angustifolia* and *Castela texana* (125). With exception of the interaction year\*plant of carotenoids content at Los Ramones, all pigments were significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons. All plants had marginal higher chlorophyll **a** content at Linares (overall mean = 0.79 mg g<sup>-1</sup> fresh weight) than China (0.71) or Los Ramones (0.66). Chlorophyll **b** content followed a similar trend as chlorophyll **a** (0.29, 0.25 and 0.23, respectively). Marginal differences in carotenoids content, in all plants, were found among sites (overall mean = 0.2 mg g<sup>-1</sup> fresh weight). All minerals were significantly different between years, seasons and between plants within years and seasons. Even these differences plants had Ca, N, Mg, K, Fe and Mn in sufficient amount to satisfy ruminant animal needs. However, P, Zn y Cu were marginal deficient throughout the year. The species with the higher  $\Psi$  values were *Lantana macropoda* (-0.35 MPa) (Linares), *Karwinskia humboldtiana* (-0.52 MPa), *Forestiera angustifolia* and *Lantana macropoda* both with -0.55 MPa (Los Ramones). The factor more related with the variations in pigments and macro and micro minerals content in plants was the seasons of the year. It seems that water potentials of plants were associated to the differences of the components of atmospheric evaporative demands.

## 2. INTRODUCCIÓN

En esta región árida y semiárida, del noreste de México, con climas secos, la disponibilidad de agua es el factor más limitante que controla el crecimiento de los especies vegetales, sobrevivencia y su distribución (González *et al.*, 2004). Sin embargo, muchas plants se han adaptado con cambios fisiológicos y morfológicos como: la abscisión temprana de las hojas, reducción del área foliar, extenso y profundo sistema radicular, acumulación cerosa en la epidermis, reducción de la pérdida de agua por el cierre estomático y acumulación de solutos orgánicos e inorgánicos (Newton *et al.*, 1991). Por las características de la vegetación, esta región es considerada más propicia para el desarrollo de la ganadería doméstica extensiva (caprino, bovino y ovino) y fauna silvestre (venado cola blanca), donde las especies nativas del matorral juegan un papel importante como fuente de alimento. Sin embargo, la acción del sobrepastoreo ha provocado la desaparición de las especies nativas mas apetecidas por los herbívoros domésticos y que estas han sido reemplazadas por otras de menor calidad y por invasoras exóticas (Morici, 2006). Se ha comprobado que la acción de los herbívoros domésticos en las áreas naturales da como resultado una modificación en la composición florística y la estructura de la formación vegetal (Bailey *et al.*, 1996; Turner, 1999); por consiguiente, esta transformación de la estructura vegetal ha ocasionado cambios importantes en el balance de las poblaciones silvestres. No existe evidencia de algún



reporte científico del contenido estacional de pigmentos (clorofila **a** y **b** y carotenoides) y minerales (Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, N, P, Zn) en las hojas de especies maderables nativas que crecen en el noreste de México. Aunque se ha documentado variación genética de mecanismos fisiológicos para evadir la deshidratación del tejido vegetal por el estrés hídrico en cultivos básicos, es escasa la información disponible sobre el comportamiento de las relaciones hídricas en plantas arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco (Reid *et al.*, 1990).

## **2.1. HIPÓTESIS**

**2.1.1** Existe diferencia espacial y temporal en el contenido de clorofila **a**, **b**, carotenoides, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, N, P, Zn, Cenizas y potencial hídrico en once especies arbustivas forrajeras nativas más comunes de la flora del noreste de México.

## **2.2. OBJETIVOS**

### **2.2.1 Objetivo General**

Determinar y analizar la diversidad florística y el contenido estacional, durante dos años consecutivos, de pigmentos vegetales y las concentraciones de macro y micro minerales, de arbustivas nativas forrajeras más comunes de la flora del noreste de México; además, el potencial hídrico de las especies en tres municipios (Los Ramones, China y Linares) del estado de Nuevo León.

### **2.2.2 Objetivos Específicos**

**2.2.2.1** Determinar la diversidad de las comunidades de vegetación presentes en los tres sitios de muestreo utilizando diferentes parámetros ecológicos como abundancia, dominancia y frecuencia.

**2.2.2.2** Cuantificar la concentración de clorofila *a*, *b* y carotenoides en 11 en las hojas árboles y arbustos nativos más comunes del noreste de México.

**2.2.2.3** Medir el contenido foliar de macro (Ca, K, Mg, N y P) y micro minerales (Cu, Fe, Mn, Zn) en 11 árboles y arbustos nativos más comunes del noreste de México.

**2.2.2.4** Determinar el potencial hídrico en diez especies del matorral espinoso tamaulipeco bajo condiciones de sequía al amanecer y al mediodía en dos sitios de estudio.

### **3. ANTECEDENTES**

#### **3.1 Vegetación del Área de Estudio**

El principal tipo de vegetación en el noreste de México, conocido como Matorral Espinoso Tamaulipeco, se compone de arbustos y de árboles diversos, densos y espinosos, los cuales se distinguen por un amplio rango de grupos taxonómicos mostrando diferencias en patrones de crecimiento, diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y desarrollo fenológico (McMurtry *et al.*, 1996; Northup *et al.*, 1996). Cuando se comparan especies de vida distintas, se pueden mantener biomásas de diferentes duraciones, es importante distinguir entre la eficiencia en el uso de los nutrientes a corto y a largo término (Berendse y Aerts, 1987). Dado que el fin último de la utilización de los nutrientes es la producción de biomasa y la fijación de energía, una respuesta esperable de las plantas de zonas sometidas a estrés nutricional sería la de incrementar la cantidad de biomasa producida o de energía fijada en la fotosíntesis por unidad de nutriente utilizado (Garnier y Aronson, 1998). Esta región semiárida de matorrales, la cual cubre aproximadamente 200,000 km<sup>2</sup> incluyendo el sur de Texas y el noreste de México, está caracterizado por un promedio anual de precipitación de 805 mm y el potencial anual de evapotranspiración es de aproximadamente 2200 mm. Este tipo de vegetación representa para sus pobladores una cultura pastoril-agrosilvícola que ha sido legada de generación en generación. En los últimos años dichas actividades han

conducido al matorral a un deterioro genético y ecológico; ya que su aprovechamiento es realizado sin aplicar metodologías adecuadas provocando un deterioro de su potencial productivo. En tanto Alanis *et al.* (1996) mencionan que para los municipios de Los Ramones, China y Linares los tipos de vegetación son el Matorral Espinoso y Mezquital presentando variantes fisonómicas, en las cuales las especies pueden ser altas espinosas o medianas subinermes, y representan las comunidades vegetales típicas de la región de la Planicie Costera del Golfo. En condiciones de suelo y humedad favorables, presentan fustes bien definidos y formas arbóreas de más de 6 m de altura, entre los que destacan por abundancia y cobertura: mezquite (*Prosopis laevigata* y *P. glandulosa*), ébano (*Ebenopsis ebano*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*), chaparro amargoso (*Castela texana*), granjeno (*Celtis pallida*), palo verde (*Cercidium macrum*), cruceto (*Randia laetevirens*), anacahuita (*Cordia boissieri*), cenizo (*Leucophyllum frutescens*), guayacán (*Guaiacum angustifolium*), tasajillo (*Opuntia leptocaulis*), nopal (*O. engelmannii*), colima (*Zanthoxylum fagara*), y coma (*Bumelia celastrina* y *B. lanuginosa*), destacando la palma china (*Yucca filifera*) hasta de 10 m de altura. El matorral es utilizado por los habitantes de la región en varias formas, tales como: forraje para el ganado, carbón, madera para construcción, estantería, alimentos, herbolaria, medicina y semillas para propósitos de reforestación. Además, estas plantas proveen de un hábitat a la fauna silvestre y una cubierta para prevenir la erosión del suelo. Adicionalmente, las plantas nativas del matorral han desarrollado diversas características morfológicas y fisiológicas apropiadas para la adaptación a factores ambientales adversos, particularmente al estrés por sequía y altas temperaturas (González y Cantú, 2001).

### **3.2 Definición del Término Forraje**

El forraje se define como cualquier parte comestible no dañina en una planta o en una parte de la planta que tiene un valor nutritivo y que es disponible a los animales en pastoreo. Una planta o parte de la planta tiene que llenar varios requisitos antes de que pueda ser considerada como forraje. El mas importante de estos es la aceptabilidad, la disponibilidad y si provee o no nutrientes. Respecto a la ultima condición, tenemos que muchas de las plantas consideradas como tóxicas o dañinas no pueden ser clasificadas como especies forrajeras porque ellas no proveen nutrientes cuando son consumidas, mas bien en lugar de esto, causan enfermedades, daños y en ocasiones la muerte. Hay excepciones en aquellos animales que son capaces de consumir alguna cantidad de plantas tóxicas sin daños, aún más, algunas plantas tóxicas son consideradas buen forraje y son tóxicas únicamente con un manejo inadecuado (Aguirre y Huss, 1987). El valor nutritivo de cualquier forraje depende de su contenido de nutrientes productores de energía, así como del contenido de nutrientes esenciales para el organismo, tales como proteína, minerales y vitaminas.

La aceptabilidad es uno de los mejores requisitos que las plantas o parte de ellas tienen que tener para ser clasificadas como forraje. Hay muchas especies que los animales no consumirán aun cuando la productividad de especies palatables en los ecosistemas sea muy baja, tales especies no pueden ser clasificadas como especies forrajeras, particularmente en ciertas partes de plantas como es el caso de las especies leñosas y cactus. El ganado no puede, o tal vez no comerá aquellas partes muy toscas de madera. Muchas plantas leñosas son clasificadas como especies forrajeras porque sus hojas y los brotes tiernos son comestibles, pero se tiene que recordar que gran porcentaje de su crecimiento anual no es forraje.

La disponibilidad es otro buen criterio para clasificar las plantas forrajeras, las plantas o partes de la planta que no puedan ser alcanzadas por los animales en pastoreo, por alguna razón, especialmente por su altura excesiva, no pueden ser consideradas como forraje. Esto también es cierto para aquellas plantas que crecen en partes inaccesibles. Todo el forraje es parte de la vegetación, pero todos los componentes de la vegetación pueden no ser forraje dependiendo de la situación.

### **3.3 Clases de Plantas Forrajeras**

De acuerdo a Aguirre y Huss, (1987), las plantas forrajeras se dividen en cinco categorías: zacates, hierbas, especies parecidas a zacates, arbustos y leguminosas. Un zacate considerado como especie forrajera es cualquier miembro de la familia llamada Gramineae. Una especie parecida a los zacates es cualquier miembro de la familia Cyperaceae o Juncaceae, los cuales vegetativamente se parecen mucho a los miembros verdaderos de la familia Gramineae. Una especie forrajera de las hierbas es cualquier planta herbacea que no sea miembro de las familias: Gramineae, Cyperaceae, Juncaceae y Leguminoseae. Y una especie de arbustos forrajeros son aquellos arbustos leñosos, lianas y árboles que producen brotes y hojas que son comestibles y alcanzables.

Las leguminosas son aquellas plantas herbáceas miembros de la familia Fabaceae. Hay un mérito considerable en dividir las especies forrajeras en diversas categorías en lo que particularmente respecta a las dietas de los animales en general. Una gran cantidad del ganado bovino tiene dieta bajo condiciones óptimas de zacates y leguminosas y una pequeña cantidad de hierbas y arbustos. Sin embargo, un gran porcentaje de la dieta del ganado ovino son hierbas, leguminosas y zacates, en tanto un pequeño porcentaje son



arbustos y por otro lado se puede mencionar que la mayoría de los elementos vegetales de la dieta de los caprinos son arbustos y un porcentaje menor son hierbas, leguminosas y zacates. Los venados prefieren los arbustos y leguminosas y hierbas en lugar de las gramíneas.

### **3.4 Pigmentos Vegetales**

Entre todos los caracteres externos de los vegetales, el más notable y característico es probablemente el color. El color no es únicamente un carácter llamativo de la vegetación, sino que, además, algunos de los pigmentos que lo condicionan están estrechamente ligados a las actividades fisiológicas del propio vegetal. El color de un pigmento, depende de la absorción selectiva de ciertas longitudes de onda de la luz y de la reflexión de otras. Estos pigmentos se encuentran en el interior de las células vegetales específicamente en un organelo llamado cloroplasto. Los cloroplastos son simplemente plástidos que contienen pigmentos clorofílicos. Los compuestos clorofílicos están ligados químicamente con las estructuras internas del cloroplasto (membrana tilacoides) y se hallan retenidos en estado coloidal. Asociados con las clorofilas, existen también en los cloroplastos dos clases de pigmentos amarillos y amarillo-anaranjados que son xantofilas y carotenoides.

El término "pigmento" es utilizado para describir una molécula que absorbe luz y presenta un color. Los pigmentos son sustancias que absorben luz visible. Las plantas contienen una gran variedad de pigmentos que dan lugar a los colores que en ellas observamos. Obviamente, las flores y los frutos contienen muchas moléculas orgánicas que absorben luz. Las hojas, tallos, y raíces también contienen muchos pigmentos, que

incluyen las antocianinas, flavonoides, flavinas, quinonas y citocromos. Sin embargo, ninguno de éstos debe ser considerado como un pigmento fotosintético.

La mayoría de los pigmentos de las plantas incluyen carotenoides, antocianinas, betalainas y clorofilas (Simon, 1997). Las clorofilas las cuales son verdes, y los carotenoides de color amarillo, naranja o rojo, juegan una importante función en la fotosíntesis (Bauernfeind, 1981; Young y Britton, 1993). Estos últimos ocurren en todas las plantas verdes y están localizados en los plástidos. Las clorofilas capturan energía luminosa y la convierten en energía química.

Las clorofilas y carotenoides son pigmentos esenciales de los tejidos asimilatorios de las plantas superiores responsables de las variaciones de color del verde oscuro al amarillo. Otros pigmentos involucrados en la coloración de las hojas y de los frutos son los flavonoides (amarillo) y antocianinas (rojo). La cantidad absoluta de los pigmentos tanto como su proporción son características importantes de las hojas, la planta, y las comunidades de plantas. El contenido de clorofila, el pigmento dominante de las hojas verdes, determina en sumo grado la cantidad de la radiación activa fotosintética absorbida por la hoja, el índice fotosintético, y la productividad en la planta (Merzlyak *et al.*, 2003).

Los pigmentos son importantes indicadores para humanos y otros animales herbívoros ya que ayudan a identificar las plantas, encontrar partes de plantas como son frutos, hojas, tallos, raíces o tubérculos, y determinar etapas del desarrollo de las plantas como son frutos maduros o sobremaduros. Esto fue realizado a principios del siglo pasado ya que muchos de esos pigmentos juegan un papel importante en la salud humana (Simon, 1997).

Por la importancia de los pigmentos para el funcionamiento de las hojas, las variaciones en su contenido, puede proporcionar información concerniente al estado fisiológico de las hojas. La clorofila tiende a declinar más rápidamente que los carotenoides cuando las plantas están bajo estrés o durante la senescencia de la hoja (Gitelson y Merzlyak, 1994).

### **3.5 Absorción de la Luz: Clorofila**

La clorofila, el principal pigmento de la fotosíntesis, absorbe luz principalmente en las regiones azul, violeta y roja del espectro. La luz verde no se absorbe o bien no se utiliza: la refleja las plantas y, de hecho, la mayor parte de estas son verdes debido a que sus hojas reflejan gran cantidad de luz verde que les llega. Hay varios pigmentos que absorben luz de distinta longitud de onda. La luz que se absorbe no se refleja y por tanto su color no se percibe.

Las moléculas de clorofila están formadas por átomos de carbono y nitrógeno unidos a un complejo anillo de porfirina (Figura 1). El cual posee un átomo de magnesio en el centro, unidos a dos de los cuatro átomos de nitrógeno. La clorofila tiene un largo extremo hidrofóbico, el cual lo une a la membrana tilacoide. Esta prolongación se compone de fitol, un alcohol de cadena larga que contiene 20 átomos de carbono. El color verde tan uniformemente presente en los vegetales es debido a la presencia de dos pigmentos estrechamente emparentados llamados clorofila *a* y clorofila *b*; la diferencia entre ellos se encuentra en el átomo C<sub>3</sub>, en la clorofila *a* hay un grupo metilo unido a este punto, y en la clorofila *b* se encuentra un grupo aldehído. Además de estas pequeñas

diferencias de estructura molecular, las clorofilas se diferencian también por su espectro de absorción.

Las clorofilas se encuentran prácticamente en todas las plantas con semilla, helechos, musgos y algas. Pueden formarse en las raíces, tallos, hojas y frutos a condición de que estos órganos estén situados por encima del suelo y queden expuestos a la luz. También, aunque aparentemente falten en algunas hojas de color rojo o amarillo, cuando se extraen las otras sustancias colorantes de estas, puede comprobarse incluso allí la presencia de las clorofilas, que estaban enmascaradas por los demás pigmentos. Los pigmentos accesorios que incluyen a la *clorofila b* (también *c*, *d*, y *e* en algas y protistas) y los carotenoides, como el  $\beta$ -caroteno y las xantofilas (carotenoide de color amarillo), absorben la energía no absorbida por la clorofila. La clorofila *a* absorbe sus energías de longitudes de onda correspondientes a los colores que van del violeta azulado al anaranjado-rojizo y rojo. La clorofila y muchos otros pigmentos, actúan como catalizadores, es decir, como sustancias que aceleran o facilitan las reacciones químicas, pero que no se agotan en las mismas. Esta, absorbe luz en la parte violeta y de la zona naranja a la zona roja del espectro luminoso. Convierte esta energía luminosa en energía química mediante la fotosíntesis y refleja luz en la parte del verde y en la parte del amarillo del espectro. De esta manera, la clorofila es verde.

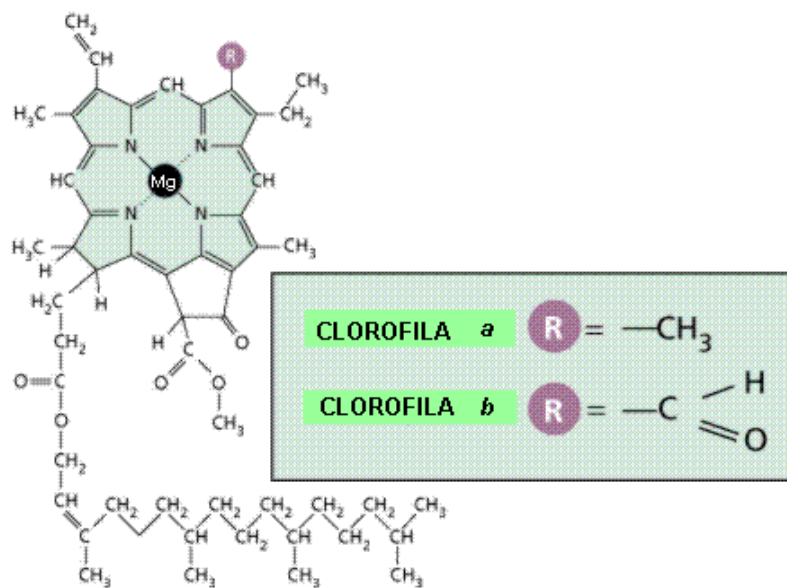


Figura 1

Estructura de la clorofila

(<http://www.estrellamountain.edu/faculty/farabee/biobk/BioBookPS.html>).

### 3.6 Los Carotenoides

Estos pigmentos también llamados pigmentos fotosintéticos accesorios. Los carotenos absorben una longitud de onda distinta a la que absorbe la clorofila, y así, amplían el espectro de luz que puede activar la fotosíntesis. La mayoría de las plantas terrestres contienen una gran variedad de carotenoides, incluyendo  $\beta$ -caroteno, luteína, neoxantina y violaxantina. La estructura básica de todas estas moléculas está compuesta de una unidad ramificada repetida de cinco carbonos. Las moléculas formadas a partir de esta unidad básica de cinco carbonos son conocidas comúnmente como isoprenoides. Observe que las estructuras de los carotenoides también contienen sistemas de enlaces dobles conjugados, que son los responsables de la absorción de la luz. La mayoría de los carotenoides absorben fotones en la región azul del espectro luminoso (400 a 500 nm), y muestran una coloración amarilla. Una excepción es el pigmento primario rojo del tomate, llamado licopeno.

La síntesis de los carotenoides sigue la ruta metabólica del isoprenoide. Esta ruta es también la base para la producción de moléculas tan diversas como las que confieren aromas, las vitaminas (por ejemplo la vitamina A), los esteroides y el caucho. La bioquímica de esta ruta involucra la adición consecutiva de unidades de cinco carbonos (o múltiplos de cinco carbonos), seguida de reordenamientos moleculares, ciclizaciones, y la adición de grupos funcionales. La síntesis de los carotenoides toma lugar en la membrana que rodea al cloroplasto, no en las membranas interiores que contienen la clorofila. Los carotenoides están involucrados en la captura de luz y otras funciones fisiológicas importantes, previniendo, vía diferentes mecanismos, el daño a las plantas causado por el flujo excesivo de radiación visible (Biswall, 1995; Gitelson *et al.*, 2002).

Las hojas de las plantas son fuentes de carotenoides (provitamina A) que pueden ser usados en la prevención de la deficiencia de vitamina A. La provitamina A de las hojas es comestible y puede ofrecer a los animales que la consumen una opción de una fuente fácil y barata para obtenerla (Simpson y Tsou, 1986; Rodríguez, 1989).

### **3.7 Los Pigmentos y la Fotosíntesis**

El uso de la energía solar en la fotosíntesis depende de la habilidad para disipar el exceso de energía en forma segura. La clave en el proceso de disipación empleado por la planta en su ambiente natural es mediada por un grupo en particular de carotenoides. Los niveles múltiples de control permiten un ajuste en la actividad de disipación de la energía en respuesta a los niveles de cambio de estrés luminoso en el ambiente natural (Demming y Adams III, 1996).

Boyer (1971), alude que la limitación de la fotosíntesis puede ser causada en parte por la reducción del crecimiento de las hojas o por su senescencia y en parte por la inhibición de la actividad fotosintética de las hojas existentes. La inhibición de la actividad fotosintética, resulta también del cierre estomático o más directamente por los cambios en la actividad de los cloroplastos.

La clorofila es una expresión de la habilidad de la planta para utilizar la energía solar para la fijación del carbono (Tiedemann *et al.*, 1987). El área de la hoja y los índices fotosintéticos de las hojas están directamente asociados con la producción de materia seca de la planta. Las concentraciones de nitrógeno y de clorofila en la hoja son parámetros fisiológicos importantes para detectar el estado del nitrógeno en la cosecha

de la planta. Las recomendaciones de fertilización tradicionalmente esta basado sobre el estado de nitrógeno en el suelo.

Aunque la concentración de clorofila y el índice fotosintético declinan linealmente con el decremento del nitrógeno en la hoja, el índice fotosintético declina menos comparado con la clorofila. Para ilustrarlo, cuando el nitrógeno de la hoja declinó de 50 a 20 mg kg<sup>-1</sup>, la clorofila de la hoja decreció en un 51%, mientras que el índice fotosintético decreció en un 33%.

(Tiedemann *et al.*, 1987) concluyen que las concentraciones de clorofila en la hoja y en índice fotosintético fueron correlacionadas estrechamente con los niveles de nitrógeno en las hojas y decrecieron linealmente como decrece la concentración de nitrógeno en la hoja. Esos resultados van de acuerdo con reportes iniciales en sorgo y en maíz. Los pigmentos están íntimamente relacionados con las funciones fisiológicas de las hojas. Las clorofilas absorben energía solar y la transfieren dentro del aparato fotosintético. Los carotenoides (pigmentos amarillos) pueden contribuir también con energía al sistema fotosintético (Sims y Gamon, 2002). Sin embargo, cuando la luz energética excede las necesidades para la fotosíntesis, los carotenoides que componen el ciclo de la xantofila disipan el exceso de energía, evitando así el daño del sistema fotosintético (Demmig-Adams y Adams, 1996). Las antocianinas (los pigmentos rosas, púrpura y rojo) pueden proteger también a las hojas del exceso de luz (Barker *et al.*, 1997).



### **3.8 El Agua, el Nitrógeno y su Relación con los Pigmentos Fotosintéticos**

El incremento de la oferta de agua, causando el transporte de agua, acelera la reducción en el contenido de clorofila total y consecuentemente el total de los pigmentos, aunque los carotenoides se vieron incrementados en los estados vegetativos y de floración. De esta manera, se puede concluir que el estrés, inducido por saturación de agua, parece estimular la senescencia de la planta. La pérdida en clorofila puede haber sido asociada a la reducción en el flujo de nitrógeno dentro del tejido así como alteraciones en la actividad de los sistemas de enzimas como nitrato reductasa o nitrogenasa en leguminosas (Younis *et al.*, 1993).

El nitrógeno total aunque no es específicamente un reflejo de los aminoácidos individuales, proteínas, y aminos en la planta, si representa una visión integrada de la eficiencia con la cual las plantas sintetizan proteínas. Los carbohidratos no estructurales totales son una expresión de la habilidad de la planta para fijar y almacenar almidones y azúcares y son dependientes de la estación y tiempo de muestreo. Esos compuestos son usados para la respiración por la planta y pueden ser un reflejo directo del vigor fisiológico de la planta (Tiedemann *et al.*, 1987).

Zhao *et al.* (2005), al estudiar los efectos de la deficiencia de nitrógeno sobre el crecimiento de la planta, fotosíntesis de la hoja, y las propiedades de reflectancia hiperespectral de sorgo, menciona que la deficiencia de nitrógeno redujo en forma significativa el área de la hoja, el contenido de clorofila de la hoja y el índice fotosintético, resultando en baja producción de biomasa. El decremento del índice fotosintético de la hoja debido a la deficiencia de nitrógeno fue asociado principalmente con un bajo índice de conductancia estomática.

En general, la deficiencia de nitrógeno usualmente decrece con las concentraciones de clorofila de la hoja resultando en un incremento en la reflectancia de la hoja en ambos rangos, verde (centrado en 550 nm) y al borde del rojo (700-720 nm) (Zhao *et al.* 2005). La concentración de nitrógeno de las hojas o la concentración de clorofila controla la capacidad fotosintética del follaje y juega un papel importante en el reemplazo anual de las hojas. Las hojas son la superficie más importante de la planta que interactúa con la energía solar. Junto a la estructura del dosel, las concentraciones de los constituyentes bioquímicos de la hoja (pigmentos, agua, proteínas, celulosa, y lignina) dan forma al espectro de reflectancia del dosel (Schlerf *et al.*, 2003).

### **3.9 Función de Protección de los Pigmentos en las Plantas**

Lisiewska *et al.* (2006), al estudiar el contenido de vitamina C, carotenoides, clorofilas y polifenoles en partes verdes de Eneldo (*Anethum graveolens* L.) dependiendo de la altura de la planta e incluyendo en el estudio análisis de las hojas en forma de navaja, pecíolos, hojas enteras (hojas con pecíolos), tallos y plantas enteras (hojas completas con los tallos). En todas las partes de las plantas de eneldo, con excepción de pecíolos, el contenido de vitamina C decrece con el crecimiento de las plantas. El contenido de carotenoides y  $\beta$ -carotenos tienden a incrementar con el crecimiento, con excepción de tallos y plantas completas. La proporción de  $\beta$ -caroteno en el contenido de carotenoides dentro de un rango de 9-17%, el más alto ha sido observado en las hojas.

La inducción de síntesis y acumulación de ciertos compuestos fenólicos (flavonoides) es un importante mecanismo de protección de la planta de daños por

radiación UV-A y UV-B (Merzlyak *et al.* 2003). Los flavonoides de color rojo, antocianinas son capaces de ejercer un efecto protector contra el daño inducido por la radiación de la parte visible del espectro solar (Merzlyak *et al.*, 2003). La hoja de una planta, la cual consiste de varias estructuras con diferentes índices de refracción (cutícula, epidermis y mesófilo) y conteniendo altas cantidades de pigmentos representando un complejo sistema óptico (Fukshansky, 1981). Aunque investigaciones detalladas de las propiedades ópticas de la hoja han aparecido en la literatura (Jacquemoud y Ustin, 2001), la más fructífera aproximación del análisis cuantitativo de pigmentos *in situ* fue desarrollada considerando a la hoja como una “caja negra”.

Estos pigmentos raramente ocurren fuera de tejidos fotosintéticos. Los carotenoides protegen la clorofila de la foto-oxidación y son accesorios, pigmentos que capturan la luz y fotorreceptores. Ocurren en todos los tejidos verdes así como independientemente en la clorofila en flores (en donde sirven para atraer animales), órganos de almacenaje, y en otras partes de la planta.

### **3.10 Propiedades Ópticas**

Gitelson *et al.* (2001), mencionan que han sido investigadas las propiedades ópticas de las hojas de varias especies de plantas en una amplia gama de los contenidos de clorofila, carotenoides y antocianinas para el desarrollo de técnicas para una estimación no destructiva del contenido de pigmentos y su composición, encontrando que la reflectancia en la banda espectral cercana a los 700 nm fue sensible solo al contenido de clorofila, en tanto que la reflectancia cercana a los 550 nm fue sensible al

contenido de clorofila y antocianinas, el cercano a 500-520 nm fue sensible al contenido de carotenoides y clorofila.

Las propiedades ópticas de las hojas en el espectro visible son fuertemente dependientes de la clorofila y ello puede servir como un indicador relativo del vigor de la planta y de la calidad ambiental. Diferentes estudios han determinado que los cambios espectrales similares en la reflectancia espectral de la hoja, transmitancia, o absorbancia ocurren en respuesta a varias causas de estrés incluyendo deshidratación, inundación, ozono troposférico, herbicidas, y deficiencias en desarrollo hemicorético y fertilización con Nitrógeno, entre especies que van desde zacates a coníferas y árboles deciduos (Carter y Spiering, 2002). Estos mismos autores mencionan que varios estudios recientes han evaluado la relación de la concentración de clorofila en las hojas con reflectancia de la hoja o con índices de reflectancia derivada del espectro visible cercano al espectro infrarrojo con una alta resolución espectral. Esos estudios indican que ocurre una relación estrecha con la clorofila en el espectro verde cercano a los 550 nm. Sin embargo, otros estudios indican que los índices basados en reflectancia cercano a los 680 nm son más efectivos para estimar el contenido de clorofila.

Las características de la radiación espectral, transmitida, o absorbida por las hojas puede proporcionar un mayor entendimiento de las respuestas fisiológicas a condiciones de crecimiento y de adaptación de las plantas a su ambiente (Carter y Knapp, 2001). Además, las alteraciones de la reflectancia en el espectro visible por condiciones de estrés resultan de la sensibilidad a las concentraciones de clorofila en la hoja a un disturbio metabólico.

### 3.11 Los Pigmentos y su Relación con la Producción de Materia Seca

Kannan y Paliwal (1992), estudiaron la producción de materia seca, clorofila, contenido de proteína y la concentración de nutrientes foliares en *Peltophorum ferrugineum* y *Albizia lebbeck* bajo condiciones en vivero. Estos autores mencionan que los estudios sobre sustancias alimenticias y concentración de nutrientes, junto con la producción de biomasa es esencial para analizar el rendimiento del crecimiento en árboles multipropósito, desde entonces la biomasa de las hojas es también usada extensamente. En relación a los resultados obtenidos en cuanto al contenido de clorofila y proteínas, encontraron que la clorofila total y la proteína soluble fue observada en su máxima extensión en *A. lebbeck* más que en *P. ferrugineum* durante todos los periodos de muestreo, y la variación entre las dos especies fue estadísticamente significativa. Hubo una notable reducción en el total de clorofila y proteína soluble en las muestras de plantas de 90 días cuando se compararon con aquellas de 60. Sin embargo, los niveles de clorofila y proteína soluble tienden a mostrar un aumento marcado después de 90 días. El total de la proteína soluble significativamente correlacionada con la producción de la materia seca total para ambas especies. En cuanto a la concentración de nutrientes se observó una diferencia en la concentración en las dos especies muestreadas. El orden de la concentración de los macronutrientes analizados puede ser dado como nitrógeno>potasio>calcio>fósforo>magnesio. Los altos contenidos de clorofila observados después de los 90 días (establecimiento de las plántulas) sugieren que ocurre una estrecha relación entre clorofila y luz ambiental.

En tanto Migahid y Elhaak (2001), al realizar un estudio ecofisiológico sobre algunas especies de plantas desérticas nativas en Egipto encontraron que su productividad fue afectada grandemente por las características de suelo y las formas de

vida de las plantas; menor así por las variaciones en pigmentos fotosintéticos en las plantas resultado de heterogeneidad espacial del hábitat. Los pigmentos fotosintéticos de las plantas fueron principalmente clorofila la cual no fue afectada en forma importante por estrés del hábitat. Las variaciones de los pigmentos totales puede no ser un signo de estrés edáfico sobre la planta.

Bellot *et al.* (2004), al estudiar las dinámicas espacio temporal de la fluorescencia de la clorofila en un matorral mediterráneo semiárido, muestra en sus resultados como las diferencias espaciales a pequeña-escala en el clima asociado con aspectos dados por la pendiente y exposición del área causa marcadas diferencias sobre las características de fluorescencia de la clorofila de los arbustos. Esas diferencias podrían tener importantes consecuencia para la asimilación del carbono, almacenamiento y para las dinámicas de la vegetación en matorrales semiáridos mediterráneos.

### **3.12 Importancia de los Árboles y Arbustos en la Alimentación Animal**

Uno de los principales problemas que limitan la producción animal en muchas áreas del mundo es el estado nutricional de los animales. De acuerdo con la mayoría de los investigadores, los principales factores que limitan el comportamiento productivo de los animales en pastoreo son: el bajo contenido proteico de las plantas, un bajo consumo de energía debido al alto contenido de fibra en los forrajes y deficiencias minerales y/o vitaminas (Corah, 1996; McDowell, 1996). La escasez de nutrientes minerales limita la producción vegetal en la mayoría de los ambientes. En condiciones naturales la cantidad de nutrientes disponibles es siempre limitada y las adiciones externas son escasas, por lo

que las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y maximizar la eficiencia en el uso de los nutrientes para conseguir una máxima producción de biomasa con una cantidad dada de nutrientes (Escudero y Mediavilla, 2003).

En regiones con características climáticas como en el noreste de México en donde predominan zonas áridas y semiáridas parece ser que la calidad nutricional de las plantas de pastizal está relacionada con modelos de crecimiento de las mismas, por este motivo se ha observado que el nivel máximo de calidad generalmente se presenta en primavera, cuando el crecimiento es más activo y que dicho nivel declina progresivamente para ser más bajo durante el invierno (Moya *et al.*, 2002). Además, estos autores hacen mención que en el sur de Texas se ha observado que, cuando en el medio ambiente hay suficiente humedad y el invierno se presenta con una temperatura moderada, aumenta la concentración de macro y microminerales (con excepción del fósforo) en las plantas de los pastizales utilizadas por los rumiantes. También hacen alusión a otros estudios, que se han hecho sobre plantas consumidas por los rumiantes de regiones de Texas y Nuevo León, en los que se ha encontrado que, cuando en dichas áreas hay suficiente humedad, acompañada de temperaturas moderadas durante el invierno, la calidad del forraje sigue un modelo bimodal con la formación de picos óptimos de calidad en primavera e invierno.

En particular, muchos árboles y arbustos de especies leguminosas son utilizadas como alimento para el ganado dado que permanecen verdes y con un contenido relativamente alto de proteína cruda a lo largo del año (Ramírez-Orduña, 2003). La fuente de energía solar es almacenada en las plantas en forma de carbohidratos, lípidos y proteínas a través del proceso de la fotosíntesis. Esta energía química almacenada se torna utilizable para el hombre y los animales en la medida de su capacidad para ingerir

y digerir los vegetales (Maynard *et al.*, 1981). Por tanto, ésta forma de energía es la que tiene mayor significado en la nutrición.

El uso de hojas, yemas y tallos de árboles y arbustos (ramoneo), en la alimentación animal, ha recibido considerable atención en Asia y América. Los árboles y arbustos han sido asociados, principalmente por su diversidad, ventajas nutricionales y preferencias alimenticias en rumiantes en pastoreo. El valor de estos forrajes en la alimentación animal, está asociado con un gran número de ventajas, así como la provisión y diversidad de sus dietas, fuente de nitrógeno, energía, vitaminas y minerales (Ramírez, 1999). El número de arbustos y árboles con potencial forrajero, en países en desarrollo es enorme, sin embargo, únicamente pocas especies han sido incorporadas dentro de los sistemas de alimentación de rumiantes en pastoreo.

El valor de los arbustos y árboles forrajeros es enorme en la mayoría de los sistemas extensivos de las regiones áridas y semiáridas, en los cuales el ramoneo en las dietas de pequeños rumiantes es muy importante. Esto para algunos animales, como los caprinos y venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*), puede representar más del 50 % de sus dietas. Reportes científicos del valor nutritivo del ramoneo sugieren que en general, hojas de arbustos y árboles contienen más altos niveles de calcio y proteína cruda que muchos forrajes comerciales (Blair, 1990). Sin embargo, algunos arbustos contienen altos niveles de compuestos antinutrimientales. En regiones tropicales, cuando las hojas de árboles han sido usadas como suplementos, los rumiantes estudiados consistentemente incrementaron el peso vivo o la producción de leche, reduciendo el costo de producción por el uso de árboles nativos de bajo costo.

El ganado bovino también consume en determinadas épocas del año y bajo ciertas condiciones importantes cantidades de especies arbustivas como lo demuestran



algunos estudios efectuados al respecto. Un ejemplo de ello es el realizado por Molina (1994) en el cual determina la composición botánica de la dieta del ganado bovino en un área de 6,400 ha correspondientes a 2 localidades del municipio de Anáhuac, Nuevo León. Por medio de análisis microhistológico de heces fecales encontrando que el ganado bovino consumió un total de 37 especies de plantas, de las cuales el 37% fueron herbáceas, 31% arbustos y 31% gramíneas. En otra investigación, Valdés (1995) utilizó la técnica de observación directa y determinó que un total de 36 especies fueron consumidas por el ganado bovino. Del total de especies consumidas, el 59% de la dieta corresponde a herbáceas, 8% son arbustivas y un 32% gramíneas.

La composición botánica de la dieta del ganado bovino en un predio localizado a 56 Km al sur de Tucson, Arizona, fue determinada usando la técnica microhistológica de heces, encontraron que 27 especies formaban parte de la dieta, de las cuales 66% correspondieron a zacates, 33% a arbustos y 1% a herbáceas.

En hábitats naturales, según Ramirez (1999) se considera que el ramoneo de hojas y tallos de las plantas leñosos, aunado al consumo de hierbas silvestres y cactáceas, son el principal componente de la dieta del venado cola blanca, siendo ocasional el consumo de zacates, forraje preferido por los bovinos. Hecho que permite establecer, que si se evita el sobrepastoreo y sobre carga del hábitat natural, no existe competencia por alimento entre bovinos y venados.

Existen evidencias considerables de que la inclusión de hierbas y arbustos en la dieta del ganado mejora el comportamiento de éste cuando los pastos están en latencia y son de baja calidad (Papachristou y Nastis, 1996). Holechek *et al.* (1989) señalan que las hojas de hierbas y arbustos contienen más proteína, fósforo y carbohidratos solubles que los pastos en similares estados de madurez.

Desde el punto de vista nutricional, es importante señalar que de acuerdo con Villarreal (1999), el venado cola blanca requiere de un mínimo de 7% de proteína cruda en su dieta, solo para mantenerse vivo; un 9.5% de proteína cruda, para alcanzar un crecimiento moderado; y de un 14% a 20% de proteína cruda, para lograr su desarrollo óptimo (corporal y de astas) y obtener una buena capacidad reproductiva.

De acuerdo a experiencias y observaciones de campo obtenidas en el noreste de México, las plantas leñosas (árboles y arbustos), características de los ecosistemas naturales del matorral xerófilo, desempeñan una doble función en el hábitat del venado, ya que además de constituir la principal fuente de alimento, cumplen con la función de servir como medio de cobertura y protección, tanto para las condiciones ambientales (principalmente altas temperaturas) y depredadores. Por esta razón, su alimentación a través de desmontes masivos o mal planificados, conlleva necesariamente a la ausencia de esta especie y de las que conviven y comparten su hábitat (Villarreal, 1999).

Villarreal (1986) al realizar un estudio para evaluar la importancia forrajera y la cobertura de las especies vegetales de 10 principales especies de las plantas leñosas que se encuentran en el matorral xerófilo, hábitat del venado cola blanca en la región norte del noreste de México concluye:

- a. todas las especies de plantas leñosas consumidas por el venado en hábitat natural de matorral xerófilo, cumplen con los requisitos mínimos de proteína cruda (9.5% establecidos para el desarrollo del venado). Siendo las especies más importantes (como forraje) desde el punto de vista de proteína cruda granjeno (*Celtis pallida*), guayacan (*Guaiacum angustifolium*), colima (*Zanthoxylum*

*fagara*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y Guajillo (*Acacia berlandieri*).

- b. Debido a que la mayoría de las plantas tienen una altura promedio igual o superior a 150 cm (8 de 10), se considera que todas ellas ofrecen la cobertura requerida por el venado como medio de protección a su hábitat. Siendo las especies más importantes desde el punto de vista de cobertura: mezquite (*Prosopis glandulosa*), huizache (*Acacia farnesiana*), uña de gato (*Acacia greggii*) y chaparro prieto (*Acacia rigidula*).

El mismo autor menciona que de acuerdo a experiencias de campo obtenidas en la región (en el noreste de México) y los resultados de análisis bromatológicos, microhistológicos y de digestibilidad “*in vitro*”; en los hábitats naturales de matorrales xerófilos donde se desarrolla el venado cola blanca, existe una gran cantidad de plantas arbustivas, herbáceas, gramíneas (zacates) y cactáceas, que en consumo combinado, le pueden proporcionar satisfactoriamente al venado los niveles de proteína cruda (PC) necesarios para el adecuado desarrollo. Algunas de ellas sin embargo, tienen bajos porcentajes de digestibilidad de materia seca (MNS). Por otro lado, y en términos generales, (por las características propias de la mayoría de los suelos de la región), muchas de las especies vegetales son deficientes en fósforo (P) asimilables y son problemas en cuanto a requerimientos de calcio (Ca) se refiere. De acuerdo a experiencias y estudios de campo realizados en la región, las herbáceas (hierbas silvestres) además de ofrecer mayores niveles de proteína cruda (15% o más) son casi dos veces más digeribles en materia seca (50% o más) que las arbustivas.

La producción de leche de caprinos manejado bajo condiciones de pastoreo extensivo puede ser afectada en cantidad y calidad por los nutrientes y especialmente por el contenido mineral de los forrajes en el pastizal, los cuales en cambio reflejan las condiciones de suelo y precipitación y es posible disminuir las deficiencias minerales con las siguientes especies granjeno (*Celtis* sp.), guayacán (*Guaiacum angustifolium*), clepe (*Ziziphus obtusifolium*), huizachillo (*Desmanthus* sp.), cenizo (*Leucophyllum* sp.), Huizache (*Acacia* sp.) y gramíneas; zacate panicum (*Panicum* sp.), y Zacate Buffel (*Cenchrus* sp.) (Haenlein y Ramírez, 2007).

Hanley (1982), afirma que el tamaño del cuerpo, el tamaño del sistema digestivo en relación al peso del cuerpo, el tipo de sistema digestivo y el tamaño y forma de la boca son factores primarios que determinan la selección de forraje por diferentes animales. En base a sus hábitos alimenticios los ungulados pueden dividirse en 3 grupos, los pastoreadores que consumen pastos; los ramoneadores que consumen hierbas y arbustos; y los de alimentación intermedia que usan cantidades casi iguales de pastos, hierbas y arbustos (Holechek *et al.*, 1989). La Tabla 1 resume algunos estudios que describen los hábitos alimenticios del venado cola blanca y ganado bovino.

Bajo condiciones de pastoreo todos los animales consumen forraje selectivamente y los caprinos no es la excepción. Sin embargo, esta clase de animales ejerce mayor presión sobre todo tipo de vegetación en comparación con otros animales domésticos. Esto está en función de la conducta, preferencia y disponibilidad de forraje en el agostadero (Morand-Fehr *et al.*, 1987). Sin embargo, los arbustos en general (ramoneables) son preferidos y seleccionados sobre otro tipo de vegetación (Tabla 2).

Tabla 1

Hábitos alimenticios de venado cola blanca y ganado bovino (Holechek *et al.*, 1990)

Animal	Tipo de pastizal / Ubicación	Pastos, %	Hierbas, %	Arbustos, %
Venado cola blanca	Pastizal de encino, Texas Central	8	31	61
	Áreas bajas, Montana	38	19	43
	Pastizal de encino, Texas Central	10	45	45
	Zacatal-matorral, Sureste de Texas	23	72	5
	Chaparral, Durango, México	2	13	85
	Praderas de pastos anuales, California	63	29	8
	Áreas de <i>Artemisia</i> , Utah	76	10	14
	Áreas de <i>Artemisia</i> , Wyoming	60	3	33
	Praderas de pastos cortos, New Mexico	62	32	6
	Desierto salino, Utah	57	3	40
	Praderas de pastos cortos, Nebraska	52	44	4
	Pastizales desérticos, Arizona	86	1	13
Bovinos	Desierto salino, Nevada	26	0	74
	Pastizales, Oregon	80	14	6
	Bosques, Oregon	61	16	23
	Desierto Chihuahuense, New Mexico	43	32	25
	Bosques de Pino del Sureste, Florida	60	20	20
	Praderas de pastos cortos, Colorado	57	26	17
	Chaparral, Durango, México	61	21	18

Reportes científicos muestran que las cabras son más ramoneadoras que otro tipo de ganado doméstico. Particularmente estudios en Brasil, Estados Unidos, España y México, revelaron que las cabras seleccionaron más especies arbustivas, aun cuando los pastos fueron abundantes (Sidhamed *et al.*, 1981). En la mayoría de los estudios realizados, el ramoneo excede el 50% de los componentes de la dieta anual de las cabras. Existen varias causas para explicar la habilidad de las cabras por consumir forraje proveniente de arbustos: son de talla pequeña (Demment y Van Soest, 1985), el total de los nutrientes consumidos por peso corporal son altos, su boca pequeña, labios móviles y la lengua prensil, permiten una gran selección de hojas pequeñas (Hanley, 1982).

### **3.13 Uso Múltiple de Algunas Especies Arbustivas en México**

Aunque es bien conocido que algunas especies arbustivas y arbóreas de bajo o nulo valor disminuyen notablemente la producción forrajera, también existen muchas plantas con alto valor forrajero o de usos alternos para la ganadería. A continuación se citarán algunas de las especies sobresalientes para el desarrollo pecuario.

La costilla de vaca o chamizo (*Atriplex canescens*). Es un arbusto nativo del matorral desértico, el cual es apreciado por los ganaderos debido a que permanece verde durante el invierno y periodos de sequía (COTECOCA, 1969). Esta planta tiene un alto contenido de proteína cruda (17%) durante las temporadas críticas (Soltero y Fierro, 1980) y representa una fuente importante de vitamina A para el ganado. Se recomienda su siembra por medio de transplante en áreas de matorrales de gobernadora (*Larrea tridentata*), implementando alguna obra de captación de humedad (Sierra *et al.*, 1987).

Tabla 2

Composición botánica de la dieta de las cabras en diferentes regiones

Localidad	Arbustos	Pastos	Hierbas
%			
Regiones Semiáridas			
Texas, EUA	77	18	5
Texas, EUA	78	17	5
Texas, EUA	42	45	13
Texas, EUA	51	45	4
Texas, EUA	58	37	5
California, EUA	80	10	10
Nuevo León, México	81	12	7
Nuevo León, México	82	12	6
Nuevo León, México	83	6	11
Jalisco, México	26	29	35
Zacatecas, México	80	13	7
Regiones Tropicales			
Sobral Ceara, Brasil	51	6	43
Sobral Ceara, Brasil	45	10	45
Tabora, Tanzania	57	29	24

Mezquite (*Prosopis glandulosa*). Este árbol ha sido un tanto controversial, ya que se han realizado varios estudios para su control, pero a la vez existen reportes de su importancia como planta forrajera. El mezquite, como muchas otras especies leñosas, pueden considerarse problemáticas, cuando su densidad es muy alta y compiten fuertemente con otras especies forrajeras. Sin embargo, el mezquite, también puede mejorar la fertilidad del suelo, permitiendo incrementar el número y vigor de gramíneas forrajeras. Así mismo, esta planta es importante en la dieta del ganado, principalmente durante la época de sequía, representando una fuente importante de proteína (Ramírez *et al.*, 1997). Es por esto que bajo condiciones específicas se recomienda su establecimiento en programas de rehabilitación de agostaderos (Ibarra *et al.*, 1998). Además, ésta especie provee de excelente sombra y es una fuente importante de leña de buena calidad en Texas y norte de México.

Leucaena o tepeguaje (*Leucaena leucocephala*) es quizá la planta arbustiva que más ampliamente se ha estudiado en el mundo (Gutteridge y Shelton, 1994) y sin duda en México. Los trabajos sobre esta planta en nuestro país incluyen evaluaciones como el establecimiento (González y Ortega, 1986), estudios agronómicos de rendimiento, así como la respuesta del ganado bajo condiciones de pastoreo (Sánchez *et al.*, 1986). Estos estudios muestran el buen valor forrajero de la leucaena para incrementar la producción pecuaria en la zona subtropical y tropical del noreste del país. La leucaena es fácil de establecer, ya sea por medio de trasplantes o siembra directa. Por otra, parte la leucaena es altamente consumida por el venado, funciona bien como cerco vivo y es buena sombra para el ganado, además que es una planta fijadora de nitrógeno.

Guácima (*Guazuma ulmifolia*). Es un arbusto o árbol aceptado como forraje por casi todos los animales domésticos. Pocos estudios se han realizado con esta planta; sin



embargo, Ávila (1984) indica que tiene buen valor nutritivo (16% PC) y que puede sustituir gramíneas tropicales en la alimentación de rumiantes. Es un árbol que proporciona buena sombra y puede ser utilizado como poste en cercos vivos.

Otro arbusto tropical de reciente evaluación en México es *Desmanthus virgatus* o huizachillo. Esta planta es una leguminosa nativa de México, de fácil establecimiento (González, 1996) pese a que la semilla debe ser escarificada para mejorar su germinación (Ávila y Ortega, 1992). Presenta un alto contenido de proteína cruda (más del 24%) en las hojas (González *et al.*, 1995), buen rendimiento de materia seca (González *et al.*, 1994) y es consumida por el ganado (Ortega *et al.*, 1996).

Las especies antes mencionadas son sólo algunas de las forrajeras sobresalientes, aunque debe reconocerse que hay muchas otras plantas con potencial de uso múltiple, de las cuales no existe suficiente información para poder recomendar su uso comercial. Entre éstas se pueden mencionar: sámbora (*Coursetia glandulosa*), palo dulce (*Eysenhardtia orthocarpa*), tepeguaje (*Leucaena pulverulenta*), ébano (*Ebenopsis ebano*), vara dulce (*Aloysia macrostachya*), mariola (*Parthenium incanum*), entre otras.

En el Matorral Espinoso Tamaulipeco se puede encontrar con una diversidad marcada de especies con potencial forrajero. Tal es el caso de *Acacia rigidula*, *A. berlandieri* y *A. farnesiana* consideradas como fuentes suplementarias de alta calidad, al proporcionar cantidades suficientes de proteína cruda, fibra, energía, y minerales en la nutrición de animales en pastoreo a través de las estaciones del año, en especial en temporadas secas. Estas especies también pueden contribuir como fuente de forraje para cubrir la demanda nutricional de la fauna silvestre); además, estas especies tienen la capacidad de absorber los nutrientes disponibles en el suelo y acumularlos en sus

estructuras foliares en concentraciones relativamente altas (hasta en 65 veces) en relación a su medio (Pérez, 1997).

Es importante destacar, que el alto consumo del nopal, tasajillo, chaparro prieto y cenizo (70% de la dieta invernal) en las áreas de matorrales xerófilos y el alto consumo de bellotas y hojas de encino, madroño y palmito (70% de la dieta invernal) en las áreas de bosque de pino-encino, obedece en ambos casos a la abundancia relativa, palatabilidad y disponibilidad de estas especies vegetales en sus respectivos hábitats; y desde luego, a la ausencia, falta de palatabilidad y disponibilidad de otras especies, que por efecto de la época del año (invierno), no son de interés para el venado, o bien, no se encuentran en condiciones de ser consumidas por el mismo (Villarreal, 1999)

### **3.14 Arbustos y Árboles Como Fuente de Nutrientes**

Los rumiantes con frecuencia ramonean una amplia variedad de árboles y arbustos. Estos sirven como alimentos para los animales en las zonas tropicales y subtropicales, que con frecuencia son ramoneados o en ocasiones lo cortan y son ofrecidos a los rumiantes en corral (Benavides, 1986, Kribia *et al.*, 1994). Una de las características más consistentes es la práctica de alimentación con hojas de árboles y arbustos a caprinos y ovinos. Por lo anterior, se debe hacer énfasis en su utilización, ya que puede representar una importante estrategia en países en desarrollo. Sin embargo, la apreciación del valor de los árboles y arbustos, como fuente de forraje, difiere de un país a otro y entre regiones del mismo país.

Las hojas, yemas y las ramas (ramoneo) de árboles y arbustos son un componente de la vegetación nativa y son más comunes en áreas montañosas frías y

regiones semiáridas. Las especies presentes y su densidad varían ampliamente con respecto al clima, tipo de suelo y precipitación. Existen muchas características agronómicas deseables de arbustos y árboles que son potencialmente relevantes para la alimentación animal. Ivory (1990) propuso que en general, las características agronómicas deseables de una especie son: aquella que presente fácil establecimiento, competitividad contra las malas hierbas, que permanezca altamente productiva aun cortándola o con el pastoreo, y a la gran adaptabilidad a las diferentes condiciones edafológicas y del medio ambiente, que requieran poco o nada de fertilizante, resistente a plagas locales y enfermedades, adecuada producción de semilla o ser confiable en su propagación vegetativa y tener un buen valor nutritivo y aceptabilidad por los animales. La selección y evaluación de especies de arbustos y especies de árboles, que reúnan estos criterios para su potencial como uso múltiple, ha sido de interés considerable en la región de Asia y, mas recientemente en África y América Tropical.

Se ha encontrado extrema variabilidad en los valores nutritivos en especies de arbustos y árboles usados en la alimentación del ganado. Esta variación es debida a la gran variedad inherente de los valores nutritivos entre especies, por las diferencias en las partes de las plantas, edad del tejido, tipos de suelos y el clima, en los cuales, las plantas están creciendo. Por otra parte, el valor nutritivo de los forrajes está en función de su digestibilidad, composición química (mineral) y presencia de toxinas o factores antinutritivos. Aunque el potencial de ramoneo es ampliamente conocido, notablemente hay una extrema escasez de información en este uso por los rumiantes, lo anterior da como resultado una necesidad de más investigación dentro del hábito del manejo del ramoneo para el balance de calidad y cantidad del forraje hacia la productividad y estabilidad dentro del pastoreo y el ramoneo (Devendra, 1994).

El gran valor del forraje de arbustos y especialmente de árboles, es su papel como complemento en las dietas. Esta importancia, está relacionada con el suministro de N, energía, minerales y vitaminas en las dietas. En muchas partes de los trópicos, regularmente, el forraje de árboles es utilizado en la alimentación de caprinos durante la escasez y sequía. En condiciones semejantes, la subsistencia alimenticia, principalmente de pajas de cereales de bajo valor nutritivo, resulta en reducido peso vivo y disminuye la productividad de los animales. El uso de forrajes como complemento, es una alternativa que quizás no ha tenido una atención adecuada en la investigación. Por una variedad de razones, esta propuesta, más que ninguna otra, tiene enorme potencial para aplicarse a rumiantes, especialmente en situaciones donde los animales son abundantes y variados (Devendra, 1990).

Ramírez *et al.* (2001), al realizar una investigación sobre la variación estacional del contenido de macro y microminerales en catorce especies arbustivas que crecen en el noreste de México concluye que la concentración de minerales en dichas plantas fueron estacionalmente afectadas por cambios climáticos, afirman que la mayoría de las plantas cuentan con niveles altos de los minerales muestreados durante primavera y verano. Los contenidos de Ca, K, Mg y Fe en muchas plantas y en la mayoría de las estaciones pueden ser adecuadas para los requerimientos de las cabras en apacentamiento, mientras que el contenido de P durante la primavera fue bajo. En tanto Ramírez-Orduña *et al.* (2005) afirman que el pastoreo es el principal recurso alimenticio para los caprinos en el noreste de México.

Reportes del valor nutritivo del ramoneo sugieren que en general, hojas de arbustos y árboles contienen más altos niveles de calcio y proteína cruda que muchos forrajes comerciales (Blair, 1990). Sin embargo, algunos arbustos contienen altos niveles

de compuestos antinutrientales. En regiones tropicales, cuando las hojas de árboles han sido usadas como suplementos, los rumiantes estudiados consistentemente incrementaron el peso vivo o la producción de leche, reduciendo el costo de producción por el uso de árboles nativos de bajo costo.

Es importante también destacar que la calidad de la mayoría de las plantas arbustivas y herbáceas que consume el venado que existen en su hábitat natural de matorrales de la región, tienen variaciones en las diversas estaciones del año, tanto en los niveles de PC como en los porcentajes de digestibilidad de materia seca (DMS) y P alcanzando los niveles más altos durante la primavera y mediados del otoño, lo cual tiene un comportamiento similar al de los periodos en los que se presentan las principales épocas de lluvia en la región (mayo y septiembre); después de los cuales, se presentan dentro del hábitat, las herbáceas y los rebrotes de hojas y tallos en las especies arbustivas.

### **3.15 El Ramoneo Como Fuente de Energía**

Aparentemente, la energía disponible en el follaje de muchas especies ramoneables, reportadas en la literatura es baja. Los coeficientes de digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 222 especies evaluadas de 13 reportes de la literatura, tienen un promedio de 50.6%, con variación dentro de un intervalo de 11 a 84%. Aproximadamente, 25% de las especies ramoneables tienen valores de digestibilidad entre 11 y 19%. A pesar de su baja digestibilidad, las diferentes especies ramoneables son importantes por la presencia de follaje en la estación seca (invierno). Algunas de las especies altas en energía comúnmente contienen factores antinutricionales como la

lignina, compuestos fenólicos y taninos condensados. Estos factores, en gran medida, pueden disminuir la digestibilidad del forraje (Jones y Wilson, 1987). Las plantas ramoneables con un alto contenido de fenoles solubles y taninos condensados, son un agudo problema para animales ramoneadores, sin embargo, los caprinos y el venado cola blanca prosperan con estos alimentos mucho mejor que los ovinos y el ganado bovino, debido a que las cabras y el venado parecen ser más tolerantes a los taninos que las otras especies mencionadas. Pero las razones reales no están totalmente entendidas. Ha sido sugerido que el incremento de la función salival produce la proteína prolina, que atrapa taninos y separa la proteína para la digestión ruminal (Hoffman, 1987). Los coeficientes de digestibilidad *in vitro* pueden ser subestimados, porque la saliva artificial usada en la técnica *in vitro* no contiene prolina, rindiendo valores bajos de digestibilidad de la materia seca (Ramírez, 1996).

Ramírez (1996) al revisar varios reportes en la literatura sobre valor nutritivo de árboles y arbustos, reportó que los taninos condensados contenidos en 69 especies ramoneables, obtenidas de 4 reportes de la literatura, afectaron negativamente los coeficientes de digestibilidad *in vitro*. Además, la lignina contenida en 149 especies ramoneables obtenidas de 7 reportes, también redujo la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del forraje. Las hojas de la mayoría de las especies ramoneables son altas en lignina; aproximadamente el 38% de las especies revisadas estuvieron dentro de un intervalo de 0 a 8%. Por otra parte, las arbustivas ramoneables tuvieron bajos porcentajes de pared celular; de 97 especies evaluadas de seis reportes de la literatura, 57% tuvieron valores de pared celular entre 20 y 49%, además, 35% de las especies mostraron valores entre 50 y 64% y, el 9% presentó valores dentro de un intervalo de 65 a 94%. El valor medio fue de 47.6%. Sin embargo, la pared celular afectó negativamente

el coeficiente de digestibilidad *in vitro*, así como el contenido de celulosa. La hemicelulosa contenidas en las 97 especies ramoneables fue baja; el 85% de las especies estuvieron dentro de un intervalo de 0.1 a 16%; el 12% estuvieron entre 17 y 24% y solo el 3% de las especies restantes tuvieron valores de hemicelulosa entre el 25 y 40% (Tabla 3).

### **3.16 Proteína en el Forraje de Árboles y Arbustos**

El contenido de proteína cruda en las especies ramoneables es relativamente constante a través del año y, usualmente, más alto que la de los pastos durante la época seca (Blair, 1990). Por lo tanto, el forraje de arbustos es frecuentemente referido como un complemento proteico para ganado y fauna silvestre (Jones y Wilson, 1987).

Sin embargo, existe un amplio rango en proteína cruda contenida entre las especies ramoneables. Ramírez (1996) al revisar varios reportes en la literatura sobre valor nutritivo de árboles y arbustos, reportó que la media de 277 plantas evaluadas en 22 reportes científicos, mostró un valor de 17% y estas estuvieron dentro de un rango de 3.1 a 41.7%. Además, el 44% de las especies ramoneables tuvieron un valor de proteína cruda de 13 a 19%; el 26% estuvieron entre 5 y 12%; el 24% estuvieron dentro 20 a 26% y sólo el 6% estuvo entre 27 y 41%. El análisis de correlación mostró, que la proteína cruda influyó positivamente ( $R= 0.42$ ,  $P<0.0001$ ) en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de las plantas evaluadas (Tabla 3). Las especies ramoneables leguminosas, sorpresivamente no parecen ser mucho más altas en proteína cruda, que las especies no leguminosas, aunque hay muchas especies leguminosas que son altas en proteína.

Tabla 3

Ecuaciones de regresión simple, coeficientes de correlación (r) y variación entre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y el contenido nutricional del forraje de árboles y arbustos, obtenidos de diferentes reportes de la literatura (Ramírez, 1996)

Ecuaciones de regresión	Coeficientes de correlación	Coeficientes de variación
DIV = 31.43 + 1.01 PC	+ 0.42; P<0.0001	28.3%; n = 222
DIV = 77.75 - 0.60 FDN	- 0.51; P<0.0001	26.8%; n = 191
DIV = 57.31 - 0.55 Cel	- 0.35; P<0.0001	31.0%; n = 119
DIV = 45.26 + 0.08 Hemi	+ 0.04; P>0.05	33.1%; n = 119
DIV = 56.73 - 0.66 Lignina	- 0.39; P<0.0001	30.3%; n = 149
DIV = 52.11 - 1.95 Taninos	- 0.43; P<0.0001	29.3%; n = 69

DIV = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; PC = proteína cruda; FDN = pared celular; Cel = celulosa; Hemi = hemicelulosa; n = número de especies analizadas.



Por otra parte, aunque las hojas de especies ramoneables son bajas en pared celular comparadas con la de los pastos, la pared celular determinada en 97 especies ramoneables estuvo negativamente correlacionada con el contenido de proteína cruda. Esto pudiera significar que las arbustivas ramoneables con altos niveles de pared celular tienen menos proteína cruda. Esta correlación fue estimada en plantas que crecen en regiones semiáridas (Blair, 1990).

Debido a que generalmente las arbustivas contienen elevados niveles de proteína, su consumo afecta la digestibilidad de todos los alimentos consumidos por el ganado. Ha sido reportado que en praderas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) pastoreado en el noreste de México, que crece mezclado con arbustos nativos, puede promover una mejor nutrición para el pastoreo de rumiantes, que aquellas praderas que solo contienen zacate buffel (Ramírez *et al.*, 1995a). Además, se reportó (Ramírez *et al.*, 1995b) que los ovinos incrementaron su consumo de materia orgánica, proteína cruda y pared celular, cuando los niveles de especies arbustivas se incrementaron en sus dietas. Asimismo, la presencia de arbustivas ramoneables en dietas de ovinos durante primavera y verano, proporcionaron adecuados niveles, para la producción ovina, de macro y microminerales en los forrajes consumidos por ovejas (Ramírez *et al.*, 1995b).

### **3.17 Consumo y Digestibilidad *in Vivo***

Muchas especies ramoneables contiene taninos condensados y compuestos fenólicos solubles en cantidades que reducen la disponibilidad de proteína y fibra, y reducen la gustocidad del forraje. Aunque este papel de los arbustos no es totalmente entendido, si se sabe que contienen importantes componentes nutricionales para el

ganado en pastoreo. Se ha reportado (Holechek *et al.*, 1990) que cabras Angora consumiendo dietas conteniendo arbustivas nativas de Nuevo México, EUA, altas en compuestos fenólicos y taninos, con excepción de *Juniperus monosperma*, mostraron una reducción en el consumo de nutrientes, comparadas con aquellas cabras con bajos niveles de esas sustancias. Además, se obtuvo un incremento (Nastis y Malechek, 1981), en la inclusión de *Quercus gambellii* en dietas basándose en alfalfa. La materia seca consumida fue reducida comparado con las cabras que se alimentaron sólo con heno de alfalfa. Otros estudios (Sidahmed *et al.*, 1981), también reportaron una reducción del consumo de materia seca de cabras alimentadas con dietas mezcladas con arbustos, comparadas con cabras alimentadas con zacate Sudán y heno de alfalfa. Al parecer las ovejas y el ganado son menos tolerantes a taninos que las cabras y venados. Asimismo, se ha reportado (Ramírez y Lara, 1998) que ovejas consumiendo una dieta que contiene chaparro prieto (*Acacia rigidula*) un arbusto con alto nivel de taninos condensados (15%), redujeron el consumo de nutrientes, comparadas con ovejas alimentadas con dietas basándose en heno de alfalfa o especies arbustivas bajas en taninos condensados. En una prueba de digestibilidad *in vivo* con venados cola blanca (Barnes *et al.*, 1991) alimentados con diferentes niveles de guajillo (*Acacia berlandieri*), una arbustiva con alto contenido de taninos condensados (16%), presentaron extremadamente bajos consumos de materia seca.

Por otra parte se ha reportado (Núñez-Hernández *et al.*, 1989) que cabras Angora consumiendo dietas con forraje de *Juniperus monosperma*, tuvieron alto consumo de materia seca, que las cabras que sólo fueron alimentadas con heno de alfalfa. Otros estudios (Ramírez y Ledezma-Torres, 1997) también, reportaron que cabras Criollas alimentadas con diferentes niveles de *Acacia rigidula* y *Acacia farnesiana*, arbustos con

alto contenido de taninos (15.0 y 7.0%, respectivamente) tuvieron consumos iguales que aquellas cabras alimentadas con dietas conteniendo heno de alfalfa. En general, la información mostró que los rumiantes que consumieron dietas con bajos y variables niveles de arbustivas nativas, con bajos contenidos en compuestos fenólicos solubles y taninos condensados, tuvieron un consumo de nutrientes comparable al del heno de alfalfa (Núñez-Hernández *et al.*, 1989, Dick y Urness, 1991; Rafique *et al.*, 1992; Ramírez *et al.*, 1993; Ramírez y Lara, 1998), heno de zacate (Ash, 1990; Boutouba *et al.*, 1990; Holechek *et al.*, 1990; Reed y Woodward, 1990; Coppock y Reed, 1992; Rodríguez *et al.*, 1992a; Ramírez *et al.*, 1997) y hojas de plátano (Benavides, 1986; Esnaola y Ríos, 1986; Rodríguez *et al.*, 1992b). Por lo tanto, las arbustivas forrajeras con bajos niveles de taninos y fenoles en dietas de cabras, ovejas y bovinos no tienen efectos adversos en el consumo de forraje, comparado con forrajes comerciales de calidad similar.

Valores de digestibilidad *in vivo* muestran que en general las dietas para cabras, ovejas y bovinos conteniendo especies ramoneables con alto contenido de compuestos fenólicos y taninos, tuvieron reducida digestibilidad de materia seca, comparadas con dietas conteniendo heno de alfalfa. Sin embargo, algunos estudios (Núñez-Hernández *et al.*, 1989; Boutouba *et al.*, 1990; Holechek *et al.*, 1990; Dick y Urness, 1991; Arthun *et al.*, 1992) no mostraron efectos consistentes, en su digestibilidad *in vivo*, con dietas conteniendo arbustivas con altos niveles de estas sustancias, comparados con aquellos con bajos contenidos de compuestos fenólicos y taninos. Lo anterior confirma que las hojas de algunas especies ramoneables, pueden ser un complemento proteico para cabras y ovejas que consumen zacates o dietas de paja de poca calidad. Además, algunas

especies ramoneables parecen igualar al heno de alfalfa, como fuente de proteína para cabras y ovejas.

### **3.18 Las Arbustivas Como Fuentes de Nitrógeno**

Se ha encontrado (Holechek *et al.*, 1990) una disminución en la retención de N en aquellos animales que consumen dietas conteniendo arbustivas nativas con altos niveles de fenoles solubles y taninos condensados; sin embargo, esta reducción se debe a una disminución en el consumo de forrajes y no tanto a una disminución en la digestión del N. Esta sugerencia ha sido confirmada en un estudio previo (Arthun *et al.*, 1992) donde encontraron que el ganado bovino tuvo la misma utilización de N en dietas con alto y bajo contenido de compuestos fenólicos y taninos condensados. Sin embargo, otros estudios (Dick y Urness, 1991; Ramírez *et al.*, 1997) mostraron que las cabras redujeron la digestibilidad de N cuando se alimentaron con dietas al mismo nivel de consumo, comparado con aquellas cabras alimentadas con especies arbustos altos en compuestos fenólicos solubles y taninos condensados. Sin embargo, se ha reportado (Rafique *et al.*, 1992) que las ovejas reducen la digestión de N cuando son alimentadas con dietas con arbustivas altas en compuestos fenólicos y taninos, comparadas con aquellas ovejas alimentadas con heno de alfalfa.

### **3.19 Las Arbustivas en el Comportamiento Animal**

Pocos estudios se han encontrado en la literatura donde se evalúe la producción láctea y el comportamiento en engorda de cabras u ovejas alimentadas con hojas de

árboles y arbustos, bajo condiciones intensivas o semiintensivas. Al parecer la inclusión del follaje de árboles en la dieta, afectó positivamente el desempeño de los rumiantes. Kribia *et al.* (1994), encontraron que las cabras Black Belly tuvieron una ganancia de peso vivo alrededor de 53 g día<sup>-1</sup>, alimentadas con 140 g día<sup>-1</sup> de un concentrado de hojas de *Leucaena leucocephala*. Sin embargo, cabras alimentadas con hojas de *Psidium guajava* disminuyeron de peso (-3.9 g día<sup>-1</sup>). Las cabras perdieron peso vivo porque *P. guajava* tuvo menos contenido de nutrientes con 48.7% de nutrientes digestibles totales (NDT), comparado con *L. Leucocephala* (71.9%, NDT). Las cabras requieren alrededor del 54% NDT para mantenimiento. En India (Rai y Harika, 1992), reportaron resultados similares cuando alimentaron cabritos Saanen x Alpina con diferentes niveles de un concentrado de *L. leucocephala*. Ellos reportaron, ganancias de 65.3 g día<sup>-1</sup> en cabritos alimentados con un concentrado con 50% de *L. leucocephala*. No se encontraron incrementos posteriores en peso vivo en cabritos con elevados niveles de *L. leucocephala* en las dietas. Al parecer el árbol *Gliricidia sepium* es uno de los mejores forrajes en las regiones tropicales para alimentar rumiantes bajo condiciones de estabuladas. Además, en Honduras (Rodríguez *et al.*, 1992a) reportaron que cabritos Saanen alimentados con heno transvala, melazas y 12% de *G. sepium* ganaron más peso vivo (91 g día<sup>-1</sup>) que cabritos alimentados con hojas del mismo árbol a niveles de 24% (78 g día<sup>-1</sup>) y 36% (46 g día<sup>-1</sup>). Asimismo, en Costa Rica (Arguello *et al.*, 1991) cabritos Saanen ganaron más peso vivo (60 g día<sup>-1</sup>) cuando fueron alimentados con *G. sepium* (78% del total de la dieta diaria) comparado con cabritos alimentados con otras especies ramoneables tropicales.

Otros reportes (Rodríguez *et al.*, 1992b) mostraron que ovejas Black Belly x Katahdin ganaron más peso vivo cuando fueron alimentadas con dietas conteniendo

heno de transvala mejorado con 12% (116 g día<sup>-1</sup>) y 24% (101 g día<sup>-1</sup>) *G. sepium*, que ovejas alimentadas con heno de transvala como único alimento (92 g día<sup>-1</sup>). Sin embargo, cuando las ovejas fueron alimentadas con *G. sepium* como único alimento, las ovejas ganaron menos peso vivo (60 g día<sup>-1</sup>) comparadas con las alimentadas con heno de transvala. Nahed *et al.* (1998), reportaron que ovejas alimentadas con forrajes de bajo costo, junto con hojas de árboles tropicales, ganaron más peso (75 g día<sup>-1</sup>) que cuando fueron alimentadas con una dieta que contenía 30% de rastrojo de maíz, 30% de melaza y 40% *Montaona leucantha*, que es un árbol tropical que crece en Chiapas, México, que las ovejas alimentadas con la dieta conteniendo 30% de rastrojo de maíz, 28% de melaza y 42% de heno de alfalfa (59 g día<sup>-1</sup>). El exceso de melaza en la dieta conteniendo solo el 25% de *M. leucantha* produjo menos peso vivo ganado en ovejas (37 g día<sup>-1</sup>) comparado con otras dietas.

*Erythrina poeppigiana* es un árbol abundante que crece en Centroamérica y, su uso como forraje para alimentar cabras lecheras bajo condiciones estabuladas se ha incrementado. En un estudio usando este árbol, reportaron que las cabras producen más leche cuando se incrementaba el nivel de *E. poeppigiana* en sustitución de frutos de plátanos, en comparación con otras cabras alimentadas con dietas conteniendo *Penisetum purpuerum* y frutos de plátanos. Otros reportes (Samur, 1984; Rodríguez *et al.*, 1989) mostraron datos positivos en la producción láctea en cabras alimentadas con dietas mezcladas en las cuales incluyeron *P. Purpuerum*, frutos de plátanos y *E. poeppigiana*.

### **3.20 Taninos Condensados en las Arbustivas**

La presencia de taninos en un gran número de hojas de árboles es nutricionalmente importante, debido a que impiden su utilización como alimento para los rumiantes. Generalmente, tanto los taninos condensados como los hidrosolubles se presentan en las hojas de los árboles, pero algunas hojas, pueden contener predominantemente taninos. Una relación inversa fue encontrada en la capacidad de precipitación de proteínas por taninos en las hojas, la palatabilidad, consumo voluntario y digestibilidad de la proteína y materia seca. Aparentemente, las dietas con elevados niveles de taninos condensados afectan adversamente el metabolismo del rumen por actividades bacteriostáticas y bactericidas, y por una severa disminución de la actividad enzimática (carboximetil celulasa, proteasas y glutamato deshidrogenasa). La disponibilidad de sulfuro y hierro fue limitada para los animales que consumieron hojas de árboles ricas en taninos. El prolongado consumo de hojas de árboles ricas en taninos indujo a una toxicidad en los animales que las consumieron. En una prueba con ovejas, que ingirieron 0.9 g de taninos condensados por kg de peso corporal, mostraron signos de toxicidad a los 15 días. Aunque en animales como el venado bura, ratas y ratones tuvieron elevadas secreciones ricas en la proteína prolina en la saliva, esto constituye, para estas especies, la primera línea de defensa contra la ingestión de taninos. Los efectos observados sugieren una inadecuada defensa contra altas cantidades de taninos en la dieta (Kumar y Vaithiyanathan, 1990).

Un contenido de taninos condensados de aproximadamente de 5% en la dieta de los rumiantes, puede no solo actuar como impedimento alimenticio, si no también influenciar la digestibilidad (Barry y Duncan, 1984). Por lo tanto, cuando hojas de árboles o arbustos ricos en taninos condensados, son ofrecidas como único alimento

puede afectar la condición corporal y producción de lana (Barry y Manley, 1984). El tratamiento con polietilenglicol-4000 parece viable para la reducción de los efectos de los taninos en el alimento. Sin embargo, la aplicación puede ser no redituable (Kumar y Vaithiyanathan, 1990).

### **3.21 Relaciones Hídricas**

Para hablar de potencial hídrico es necesario hablar de transpiración, entendiéndose esta última como la pérdida de agua en forma de vapor a través de los estomas, cutícula, y la peridermis (superficie suberizada con lenticelas). Al respecto González y Cantú (2001) mencionan que las plantas nativas del matorral han desarrollado diversas características morfológicas y fisiológicas apropiadas para la adaptación a factores ambientales adversos, particularmente al estrés por sequía y altas temperaturas. Entre estas características se incluyen: dimensión y orientación foliar, morfología, dimensión y densidad de estomas, abscisión de folíolos, pubescencia foliar, cutícula gruesa y cerosa, disminución en el potencial osmótico en forma activa y pasiva, y resistencia al flujo del agua (Kramer, (1983) citado por González y Cantú (2001), la reducción de la pérdida de agua por el cierre estomático, y acumulación de solutos orgánicos e inorgánicos (Newton *et al.*, 1991).

En la región del noreste de México en donde se desarrolla esta investigación la disponibilidad de agua es el factor más limitante que controla el crecimiento de los arbustos, sobrevivencia y la distribución en climas secos (Kramer, 1983; Newton y Goodin, 1989 citados por González *et al.*, 2004). La gran diversidad vegetal de plantas arbustivas en el estado de Nuevo León con potencial forrajero y forestal les ha



permitido adaptarse a lo largo de su estación de crecimiento a factores abióticos adversos, particularmente a la sequía. Aunque se ha documentado variación genética de mecanismos fisiológicos para evadir la deshidratación del tejido vegetal por el estrés hídrico en cultivos básicos, es escasa la información disponible sobre el comportamiento de las relaciones hídricas en plantas arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco, las cuales tienen una diversidad de usos en la región Noreste de México (Reid *et al.*, 1990).

Se ha estimado que una planta de maíz debe transpirar 600 kg de agua para producir un Kg de granos de maíz seco, y para producir un kg de biomasa seca (incluyendo hojas, tallos y raíces) debe transpirar 225 kg de agua. De la cantidad total de agua que es absorbida del suelo, transportada en el tallo y transpirada hacia la atmósfera, solamente una fracción muy pequeña de 1% se incorpora a la biomasa. Casi toda el agua que se pierde por la hoja lo hace a través de los poros del aparato estomático, que son más abundantes en el envés de la hoja. Las hojas pierden agua irremediabilmente a través de los poros estomáticos, como consecuencia de la actividad fotosintética de las células del mesófilo. Se podría decir que la transpiración es un mal necesario, ya que si los estomas no se abren no penetra el CO<sub>2</sub> requerido para la fotosíntesis por las células del parénquima clorofílico. El potencial hídrico de la planta está determinado por dos factores importantes que son: la humedad del suelo, que controla el suministro de agua y la transpiración que gobierna la pérdida de agua. Estos factores ejercen su acción a través de la conductancia estomática, que depende tanto del contenido de agua del suelo como de la humedad relativa del aire (<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/>).

González y Cantú (2001) al estudiar la adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco concluyen que los patrones estacionales de los potenciales hídricos pueden ser explicados por la disponibilidad hídrica del suelo en

un rango de 65 al 87%, el cual depende de la tendencia en precipitación. Además afirman que en condiciones de altos contenidos hídricos en el suelo, los cambios diurnos de los potenciales hídricos foliares pueden estar controlados por la capacidad del tejido foliar, para regular la tasa de pérdida de vapor de agua a través del flujo transpiracional, mientras que en condiciones de bajos contenidos hídricos, las diferencias en los valores de potenciales hídricos están asociados a la capacidad del sistema radicular para absorber agua de capas profundas del suelo.

El requisito es que haya un gradiente de potenciales hídricos entre la superficie evaporante y la atmósfera; si se revierte el gradiente de potencial hídrico ocurre el fenómeno de condensación. La evaporación del agua pura es una función de la temperatura del agua, la temperatura del aire y de la humedad relativa. Si se somete una planta a un período de sequía de una semana, se observa que las hojas adquieren una mayor disminución en el potencial hídrico que las raíces y el suelo, ya que las hojas se encuentran sometidas a un mayor estrés transpiratorio; sin embargo, en la noche ocurre cierta recuperación. El potencial hídrico durante las siguientes fases de oscuridad se hace cada vez menor. Cuando se mide la circunferencia de un árbol durante el día, se observa que disminuye, ya que el agua que se pierde por transpiración no es reemplazada con eficiencia por los tejidos de la planta, ni mediante absorción por las raíces.

El balance hídrico de las plantas varía con la especie, con los factores ambientales, las estaciones climáticas, el tipo de suelo, la edad de la planta, la hora del día, etc. En suelos arenosos el agua es retenida por el suelo con una tensión menor a 0.1 MPa, pero en suelos arcillosos más del 50% del agua realmente disponible, es retenida con una tensión mayor a 0.1 MPa. En esos suelos el agua es menos aprovechable antes que el contenido se aproxime al punto de marchites permanente (1.5 MPa).

Para la medición del potencial de las plantas en este trabajo se utilizó el método de la cámara de presión. Con este método se aplica una presión neumática al tejido para aumentar su potencial. Esta presión neumática es aplicada hasta producir exudación del agua del tejido en la superficie cortada del pecíolo. Si es muestreada la hoja, se coloca únicamente el pecíolo con el corte fuera de la cámara pero dentro del sistema de vedación. En el momento de conseguir la exudación se considera que la presión en el xilema del pecíolo es igual a la presión atmosférica y el valor aplicado será el negativo del potencial del tejido. Puede ser utilizado N<sub>2</sub> o aire para ejercer la presión. Pero se prefiere una mezcla de nitrógeno y oxígeno para evitar la oxidación de la membrana celular al aplicar diferentes presiones y recolectar exudados para construir el gráfico Presión-Volumen (Muraoka y Tzi, 2000).

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Descripción del área de estudio**

El estudio fue realizado en tres sitios localizados en el estado de Nuevo León, México. El primero fue ubicado en el Rancho “El Abuelo” en el municipio de Los Ramones (25° 40' N; 99° 27' O), el cual cuenta con una elevación de 200 m. s. n. m. El clima es semiárido con verano cálido. La temperatura media anual es de 22 °C. La precipitación media anual es de aproximadamente 700 mm. El segundo sitio fue localizado en el Rancho “Zaragoza”, en el municipio de China (25° 31' N; 99° 16' O), el cual cuenta con una elevación de 200 m. s. n. m. El clima es seco y cálido a través del año. Los rangos de precipitación, en promedio total anual van de los 400 a los 600 mm, con una temperatura media anual de 22 °C. El tercer sitio fue localizado en el Campus Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (24° 47' N; 99° 32' O) que cuenta con una elevación de 350 m. s. n. m., este sitio se encuentra en el municipio de Linares (Figura 2).

El clima es subtropical y semiárido con verano cálido. La temperatura media mensual del aire oscila entre los 14.7 °C en enero a 22.3 °C en agosto, aunque temperaturas diarias de 45 °C son comunes durante el verano. La precipitación anual media es aproximadamente de 805 mm con una distribución bimodal. En este estudio, se

registraron los promedios estacionales de la temperatura del aire (°C) y la precipitación (mm) los cuales se muestran en la Tabla 4.

En general, los tres sitios se agrupan bajo un patrón climático similar con picos de precipitación máxima durante mayo, junio y septiembre. El principal tipo de vegetación se conoce como matorral espinoso tamaulipeco o matorral subtropical espinoso (COTECOCA-SARH, 1973; SPP-INEGI, 1986). Los suelos dominantes son Vertisoles profundos, gris oscuro, lime-grisáceos, limo-arcillosos, con Montmorillonita, que se contraen y se expanden perceptiblemente en respuesta a los cambios en el contenido de humedad del suelo. Las especies arbustivas más abundantes son: *Helietta parvifolia*, *Diospyros palmeri*, *Prosopis laevigata*, *Acacia rigidula*, *A. farnesiana*, *A. greggii*, *A. berlandieri*, *Cordia boissieri*, *Fraxinus greggii*, *Forestiera angustifolia*, *Havardia pallens*, *Ebenopsis ebano*, *Leucophyllum texanum*, *Guaiacum angustifolium*, entre otras (Alanís *et al.*, 1996).

#### **4.2 Composición y Estructura de la Vegetación**

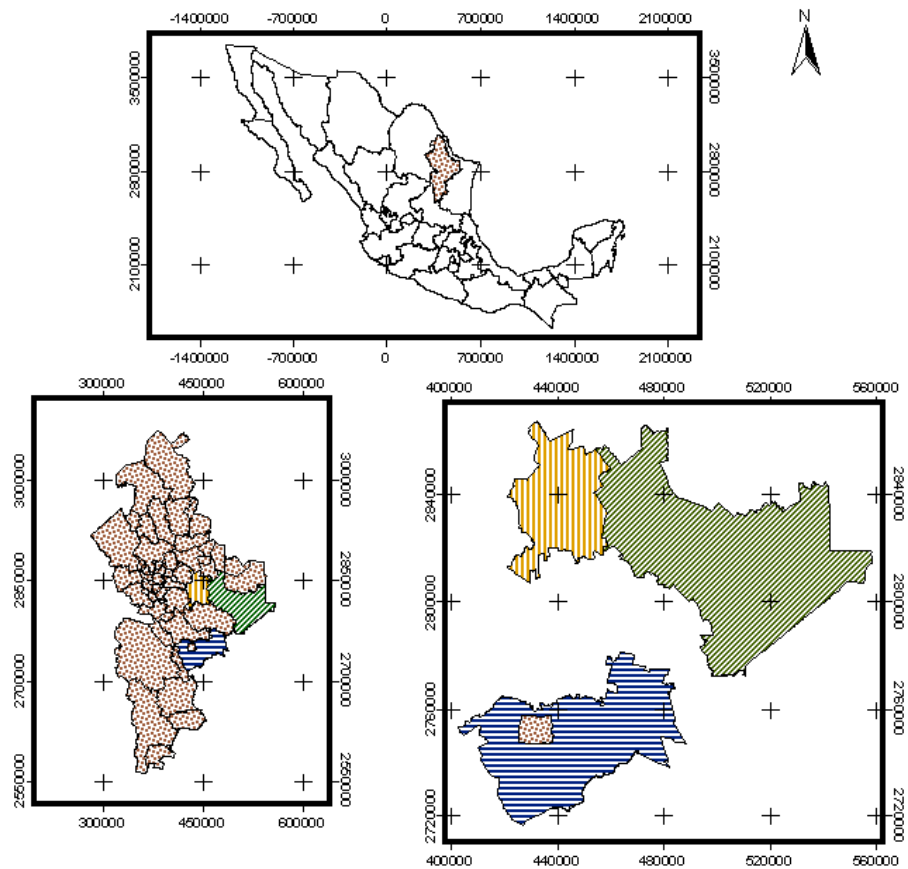
En cada sitio de muestreo se establecieron al azar tres transectos con una longitud de 50 m X 5 m (tres unidades de muestreo de forma rectangular con una superficie de 250 m<sup>2</sup> cada uno) y separados a una distancia aproximada de 500 m. En cada una de estas unidades se cuantificó el número de ejemplares de cada especie vegetal (cuando la mitad o más del individuo se localizaban dentro de los límites de la unidad de muestreo se considero dentro; en caso contrario no se tomaba en cuenta).

Tabla 4

Promedios estacionales de la temperatura del aire (°C) y precipitación (mm) en tres sitios de estudio en el noreste de México

Estación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	T °C	PPT (mm)	T °C	PPT (mm)	T °C	PPT (mm)
Verano 2004	22.8	29.4	23.6	457.0	23.6	447.0
Otoño 2004	17.7	96.0	19.4	31.0	22.1	95.0
Invierno 2005	10.1	98.0	11.3	74.0	13.4	133.0
Primavera 2005	16.5	96.0	18.2	140.0	20.5	94.0
Verano 2005	23.1	322.0	24.5	486.0	23.4	465.0
Otoño 2005	17.2	194.0	19.5	101.0	19.0	316.0
Invierno 2006	8.7	4.0	11.5	14.0	9.7	9.0
Primavera 2006	18.8	158.0	19.9	150.0	19.6	79.0
Σ		997.4		1453.0		1638.0

T = Temperatura ; PPT = Precipitación.



#### Simbología y Descripción

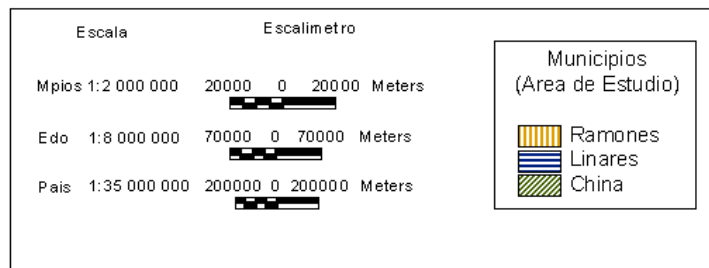


Figura 2. Localización del área de estudio

Además, se determinaron los parámetros dasométricos de altura (m) y diámetro (m) de copa (este último tomando en cuenta la medición del largo por el ancho de la especie y tomada de norte a sur y de oriente a poniente).

#### **4.2.1 Estimación del Índice de Valor de Importancia (IVI).**

Es un parámetro que mide el valor de las especies, típicamente en base a tres parámetros principales: dominancia (ya sea en forma de cobertura o área basal), densidad y frecuencia. El índice corresponde a la suma de estos tres parámetros, siendo este valor el que revela la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad vegetal y un mejor descriptor que cualquiera de los parámetros utilizados individualmente. Para obtener el IVI es necesario transformar los datos de cobertura, densidad y frecuencia en valores relativos. La suma total de los valores relativos de cada parámetro debe ser igual a 100. Por lo tanto, la suma total de los valores del Índice debe ser igual a 300. Muchas veces no se tiene información o no es posible medir los tres parámetros utilizados para calcular el Índice, por lo cual en estos casos se deben sumar los valores de dos parámetros, cualquiera que sea la combinación.

Con los datos obtenidos se realizaron estimaciones de cobertura aérea por especie, Abundancia (A), Dominancia (D) y Frecuencia (F), utilizando las siguientes fórmulas:

$$A = \frac{\text{No. de individuos de la especie } i}{\text{No. total de todas las especies}} * 100$$



Se refiere a la relación de la densidad de las especies comparado con un total existente (Heiseke y Foroughbakhch, 1985).

$$D = \frac{\text{Área de copa de la especie } i}{\text{Área de copa total}} * 100$$

Parámetro que da una idea del grado de participación de las especies en la comunidad (Heiseke y Foroughbakhch, 1985).

$$F = \frac{\text{No. de transectos con la especie } i}{\text{No. total de transectos muestreados}} * 100$$

Parámetro que ofrece una idea de la distribución de las especies, siendo fundamental para conocer la estructura de la comunidad (Sorensen, 1948).

#### **4.2.2 Estimación de la Diversidad de Especies.**

Los índices han y siguen siendo muy útiles para estudiar la vegetación. Si bien muchos investigadores opinan que estos comprimen demasiado la información, además de tener poco significado, en muchos casos, son el único medio para analizar los datos obtenidos en un muestreo. Los índices que se determinaron en este trabajo son los más utilizados en el análisis comparativo y descriptivo de la vegetación (Matteucci, 1982).

### 4.2.3 Estimación de Índices de Diversidad de Especies.

La diversidad, en su definición, considera tanto al número de especies como también al número de individuos (abundancia) de cada especie existente en un determinado lugar. En la actualidad, estos índices son criticados porque comprimen mucha información que puede ser más útil si se analiza de manera diferente. A pesar de ello, los estudios florísticos y ecológicos recientes los utilizan como una herramienta para comparar la diversidad de especies, ya sea entre tipos de hábitat, tipos de bosque, etc. Normalmente, los índices de diversidad se aplican dentro de las formas de vida (por ejemplo, diversidad de árboles, hierbas, etc.) o dentro de estratos (diversidad en los estratos superiores, en el sotobosque, etc.).

Existen más de 20 índices de diversidad, cada uno con sus ventajas y desventajas. Para este estudio se utilizó el *Índice de Shannon - Wiener*, uno de los más frecuentes para determinar la diversidad de plantas de un determinado hábitat (Matteuci *et al.*, 1999). Para aplicar este índice, el muestreo debe ser aleatorio y todas las especies de una comunidad vegetal deben estar presentes en la muestra. El índice se estima mediante la fórmula:

$$(H') = - \sum_{i=1}^S P_i (\ln(P_i))$$

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener;

S = Número de especies;

P<sub>i</sub> = Abundancia relativa;

Ln = Logaritmo natural.

#### 4.2.4 Estimación de Índices de Riqueza de Especies

La riqueza se refiere al número de especies pertenecientes a un determinado grupo de especies vegetales existentes en un área determinada. La riqueza específica es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que permita conocer el número total de especies obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio. La mayoría de las veces se tiene que recurrir a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad (Moreno, 2001). Aunque existe una gran cantidad de índices de riqueza, cada uno con sus ventajas y desventajas, en este trabajo se utilizaron los *Índices de Margalef, Gleason y Menhinick*, siendo adecuados para conocer la riqueza de especies para un determinado hábitat. Para utilizarlos, el muestreo debe ser aleatorio y todas las especies de una comunidad vegetal deben estar presentes en la muestra. Los índices se calcularon de la siguiente manera:

##### a) Índice de Margaleff:

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Magurran, 1988) y esta dado por la siguiente ecuación:

$$(D_{Mg}) = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Donde:

$D_{Mg}$  = Valor del Índice de Margaleff

S = Número de especies o Riqueza de especies

N = Número total de individuos o abundancia

Ln = Logaritmo natural.

**b) Índice de Gleason**

$$(D_g) = \frac{S}{\log(N)}$$

Donde:

$D_g$  = Valor del Índice de Gleason

S = Número de especies

Log = Logaritmo

N = Número total de individuos o abundancia

**c) Índice de Menhinick:**

Este índice se basa en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al aumentar el tamaño de la muestra.

$$(D_{mn}) = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde:

$D_{mn}$  = Valor del Índice de Menhinick

S = Número de especies

N= Número total de individuos o abundancia

#### 4.3 Pigmentos Vegetales

Las especies de plantas utilizadas para este trabajo fueron: *Acacia rigidula* Benth. (Fabaceae, arbustiva), *Bumelia celastrina* H. B. K. (Sapotaceae; árbol), *Castela texana* Torr & Gray (Verbenaceae; arbustiva), *Celtis pallida* Torr. (Ulmaceae; arbustiva), *Croton cortesianus* Kunt. (Euphorbiaceae; arbustiva), *Forestiera angustifolia* Torr. (Oleaceae; árbol), *Karwinskia humboldtiana* Roem et Schult. (Rhamnaceae; arbustiva), *Lantana macropoda* Torr., (Simaroubaceae; arbustiva), *Leucophyllum frutescens* Berl. (Scrophulariaceae; arbustiva), *Prosopis laevigata* (Willd) M.C. Johnst. (Fabaceae; árbol) y *Zanthoxylum fagara* L. (Rutaceae; árbol). Estas especies son las más representativas de la vegetación nativa del noreste de México y del ecosistema de la sabana subtropical del sureste de Texas, USA (Reid *et al.*, 1990) y fueron seleccionadas para el análisis de pigmentos.

Los ápices terminales con hojas completas de diferentes individuos por especie fueron elegidos aleatoriamente de una parcela representativa de 50 m X 50 m y sin

disturbio de matorral espinoso, localizados en cada sitio de muestreo. Las colectas fueron realizadas estacionalmente durante dos años consecutivos: en verano, 2004 (agosto 28); otoño, 2004 (noviembre 28); invierno, 2005 (febrero 28); primavera, 2005 (mayo 28); verano, 2005 (agosto 28); otoño, 2005 (noviembre 28); invierno, 2006 (febrero 28) y primavera, 2006 (mayo 28). Los ápices fueron muestreados en la parte media de cuatro plantas (repeticiones) de cada especie. De acuerdo a lo propuesto por Carter y Spiering (2002), las hojas adaptadas al sol y a la sombra fueron incluidas aleatoriamente en las muestras para todas las especies de plantas. Las hojas fueron colocadas en bolsas de plástico y almacenadas en hielo usando una hielera. Las muestras frescas fueron transportadas al laboratorio para el análisis de los pigmentos; los cuales fueron realizados 12 h después de las colectas.

Para llevar a cabo los análisis fueron utilizadas muestras cuadruplicadas de cada especie de planta (1.0 g de peso fresco). Las clorofilas **a** y **b** y carotenoides fueron extraídos en acetona acuosa al 80% (v/v) y filtradas al vacío a través de un papel filtro Whatman No. 1. Las mediciones de los pigmentos fueron cuantificadas espectrofotométricamente usando el espectrofotómetro Perkin-Elmer (Modelo Lambda 1A). La absorbancia de los extractos de clorofila *a* y *b* y los carotenoides fueron determinados con longitudes de onda de 663, 645 y 470 nm, respectivamente. Las concentraciones ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  peso fresco) de los pigmentos fueron calculados por las ecuaciones de Lichtenthaler y Wellburn (1983).

#### 4.4 Contenido Mineral

La colecta de material se realizó en tres transectos establecidos en cada sitio de muestreo. En cada uno de ellos se colectó el material suficiente para realizar el análisis en laboratorio (hojas y ramillas) de diferentes individuos de cada especie vegetal seleccionada, destacando especial énfasis en coleccionar material vegetal de hojas maduras. Dicho material fue colectado en bolsas de papel y transportado a laboratorio en donde fue secado a temperatura ambiente. Se tomaron tres repeticiones por especie y por estación y sitio de muestreo para llevar a cabo las determinaciones de la concentración de minerales. Posteriormente, el material fue mezclado y molido en un molino provisto de una malla de 2 mm, posteriormente se colocó en recipientes de plástico debidamente etiquetados para su análisis posterior.

La determinación de minerales (Ca, P, Mg, K, Cu, Fe, Mn, y Zn) en tejido foliar de cada especie se realizó de acuerdo a técnicas analíticas de digestión descritas en AOAC (1990). La determinación de P se llevó a cabo por colorimetría (Espectrofotómetro Perkin Elmer, Lambda 1; AOAC, 1990) mientras que la de Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn, y Zn se realizaron a través de absorción atómica (Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Varian, modelo Spectr AA 200; AOAC, 1990). En tanto que el N fue estimado a través del método de Kjeldahl.

#### 4.5 Relaciones Hídricas

Las determinaciones del potencial hídrico ( $\Psi$ , MPa) en las diez especies evaluadas (de las once especies seleccionadas inicialmente se excluyó *Croton cortesianus*) se realizó en dos sitios de estudio (Linares y Los Ramones, Nuevo León)

bajo dos regímenes hídricos; el primero se realizó en la época de sequía (14 y 15 de julio del 2005; para Linares y Los Ramones, respectivamente) y la segunda determinación fue realizada bajo condiciones de suficiente humedad disponible la cual correspondió para las fechas de 4 y 5 de Agosto de 2005; para Linares y Los Ramones, respectivamente. Para el sitio de Linares, el contenido gravimétrico de humedad en el suelo (CGHS) (%) promedio para el perfil de profundidad del suelo 0-50 cm fue de 15.4 % y 28.8%, para la condición de sequía y suficiente humedad, respectivamente. El contenido gravimétrico de humedad en el suelo fue realizado de acuerdo al procedimiento descrito por González *et al.* (2000). En cada condición hídrica y sitio de estudio, se eligieron (dentro de una parcela experimental de 50 m X 50 m) aleatoriamente tres individuos (repeticiones) de cada especie vegetal. Para determinar el  $\Psi$  se muestrearon ramillas con tejido foliar maduro a dos horas del día; al pre-amanecer ( $\Psi_{pd}$ ; 06:00 hrs) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ; 13:00 hrs). Para determinar el  $\Psi$  se utilizó la bomba de presión tipo Scholander (Modelo 3005, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA) (Ritchie y Hinckley, 1975).

#### **4.6. Análisis estadístico**

Los datos de las clorofilas y carotenoides fueron analizados estadísticamente usando análisis de varianza (ANOVA) con un arreglo multifactorial siendo los factores los años (2), estaciones (4) y las especies de plantas (11). Cuando en el ANOVA las pruebas-F presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), fueron validadas usando la prueba de Tukey. Asumiendo normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Steel y Torrie, 1980). Para comparar el contenido de pigmentos



entre familias Fabaceae y no Fabaceae y entre especies de arbustos versus árboles se utilizó la prueba-t (Steel y Torrie, 1980). Se realizó un análisis de correlación simple entre el contenido de pigmentos y el promedio de temperaturas y la precipitación acumulada registrada para cada estación de muestreo. Adicionalmente las variables climáticas fueron usadas como covariables para ajustar los datos de los pigmentos, (Steel y Torrie, 1980). Para comparar los efectos principales del contenido mineral y sus interacciones correspondientes fueron realizados de acuerdo a los procedimientos descritos por Steel y Torrie (1980). Para el caso del potencial hídrico; para detectar diferencias significativas entre las especies vegetales de cada sitio de estudio bajo cada condición hídrica y hora del muestreo, los datos fueron analizados usando un diseño completamente aleatorio. Cuando la prueba de F presentó un valor superior al valor crítico tabulado de F ( $P < 0.05$ ), se efectuó la prueba de comparación de medias entre las especies vegetales según el procedimiento de Tukey ( $P = 0.05$ ) (Steel y Torrie, 1980). Todos los métodos estadísticos aplicados fueron analizados usando el paquete estadístico SPSS (Versión 9).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Composición y Estructura de la Vegetación

Se registraron 1741 individuos de las diferentes especies de árboles y arbustos en los 9 transectos establecidos en los tres sitios de muestreo; estimando una altura promedio de la comunidad vegetal de 1.8 m. Las especies de plantas encontradas pertenecen a 20 familias, predominando las especies de la familia Fabaceae (10), Euphorbiaceae y Rhamnaceae (4), Rutaceae (3) y Cactaceae (2); en las restantes 15 familias solo presentaron una especie las cuales se pueden ver en la tabla 5. Las especies más frecuentes (registradas en los tres sitios de muestreo) fueron: *Acacia rigidula* (255), *Viguiera stenoloba* (171), *Havardia pallens* (167), *Karwinskia humboldtiana* (132), *Forestiera angustifolia* y *Castela texana* (125) representando solo estas 6 especies el 56 % del total encontrado. Las especies menos frecuentes fueron: *Condalia spathulata* (7), *Ebenopsis ebano* (7), *Condalia hookeri* (6), *Wedelia texana* (5), *Cordia boisieri* (4), *Acacia farnesiana* (3), *Yucca treculeana* (3), *Helietta parvifolia* (2), *Croton torreyanus* (1) y *Prosopis* sp. (1), representando estas ultimas un 2.2 %.

Se estimó una altura promedio de la comunidad vegetal de 1.18, 1.62 y 2.52 m para Los Ramones, China y Linares, respectivamente, y un total de 37 especies arbustivas. La Tabla 6 muestra los componentes arbustivos de las comunidades muestreadas. Se identificaron un total de 22 géneros con 25 especies pertenecientes a 15

familias para el sitio de Los Ramones, 23 géneros con 25 especies de 16 familias para China y 22 géneros con 24 especies y 16 familias en Linares. Un aspecto a destacar es la densidad de individuos para cada sitio de muestreo. En Los Ramones se registraron 487 individuos, en China 335 y en Linares se contabilizaron un total de 919 en una superficie de 750 m<sup>2</sup>; por lo tanto se estima con estos datos una densidad de 6,493, 4,467, 12,253 individuos por hectárea respectivamente para los sitios de Los Ramones, China y Linares.

Los valores de IVI obtenidos para los tres sitios de muestreo se muestran en las tablas 7, 8 y 9 para Los Ramones, China y Linares respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos para el sitio de Los Ramones, las especies que mostraron mayor Abundancia fueron *Acacia rigidula* (24.02), *Karwinskia humboldtiana* (14.37) y *Croton cortesianus* (10.06); en tanto las que presentaron los valores menores fueron *Lantana macropoda*, *Prosopis* sp. y *Yucca treculeana* todos con valores de 0.21 (Tabla 6). En lo que a Dominancia se refiere, *Phaulothamnus spinescens*, *Cercidium macrum* y *Bumelia celastrina* presentaron los valores más altos con 16.76, 16.76 y 7.94, respectivamente, y fueron *Yucca treculeana*, *Leucophyllum frutescens* y *Condalia* sp., las especies con los valores más bajos (Tabla 7).

Tabla 5

Familias y sus respectivas especies encontradas en los tres sitios de muestreo

<b>Familia</b>	<b>Nombre Científico</b>
Fabaceae	<i>Acacia berlandieri</i> Benth <i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd <i>Acacia rigidula</i> Benth <i>Cercidium macrum</i> Johnst <i>Ebenopsis ebano</i> (J. Berlandier) L. Rico <i>Eysenhardtia texana</i> Scheele <i>Havardia pallens</i> (G. Benth) N. Britton & J. Rose <i>Prosopis laevigata</i> (Willd.) M.C. Johnst. <i>Prosopis</i> sp.
Euphorbiaceae	<i>Bernardia myricaefolia</i> (Scheele) S. Wats. <i>Croton cortesianus</i> H. B. K. <i>Croton torreyanus</i> Muell. Arg. <i>Jatropha dioica</i> (H. B. K) Mac-Vaugh
Rhamnaceae	<i>Condalia spathulata</i> Gray <i>Condalia hookeri</i> Johnst <i>Karwinskia humboldtiana</i> Zucc. <i>Ziziphus obtusifolia</i> Gray
Rutaceae	<i>Amyris texana</i> (Buckley) P. Wilson <i>Helietta parvifolia</i> Benth. <i>Zanthoxylum fagara</i> (L.)Sarg.
Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i> (Salm-Dyck) <i>Opuntia leptocaulis</i> D. C.
Asteraceae	<i>Wedelia texana</i> (A. Gray) B. L. Turner
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> D. C.
Celastraceae	<i>Schaefferia cuneifolia</i> Gray.
Compositae	<i>Viguiera stenoloba</i> Blake
Ebenaceae	<i>Diospyros texana</i> Eastw
Liliaceae	<i>Yucca treculeana</i> Carr.
Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.
Phytolaccaceae	<i>Phaulothamnus spinescens</i> Gray.
Rubiaceae	<i>Randia</i> sp.
Sapotaceae	<i>Bumelia celastrina</i> Humboldt, Bonpland & Kunth
Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Ter. & Berl.)Johnst
Simaroubaceae	<i>Castela texana</i> (J.Torrey & A. Gray) J. Rose
Ulmaceae	<i>Celtis pallida</i> Torr.
Verbenaceae	<i>Lantana macropoda</i> J. Torrey
Zygophyllaceae	<i>Guaiacum angustifolium</i> C. Engelmann

Tabla 6  
Especies identificadas en los tres sitios de estudio

Sitio					
Los Ramones		China		Linares	
Nombre Científico	No.	Nombre Científico	No.	Nombre Científico	No.
<i>Condalia hookeri</i>	1	<i>Amyris texana</i>	1	<i>Cordia boissieri</i>	1
<i>Leucophyllum frutescens</i>	2	<i>Leucophyllum frutescens</i>	2	<i>Helietta parvifolia</i>	2
<i>Castela texana</i>	3	<i>Castela texana</i>	3	<i>Amyris texana</i>	3
<i>Acacia rigidula</i>	4	<i>Acacia rigidula</i>	4	<i>Condalia hookeri</i>	4
<i>Zanthoxylum fagara</i>	5	<i>Zanthoxylum fagara</i>	5	<i>Leucophyllum frutescens</i>	5
<i>Bumelia celastrina</i>	6	<i>Bumelia celastrina</i>	6	<i>Castela texana</i>	6
<i>Condalia spathulata</i>	7	<i>Schaefferia cuneifolia</i>	7	<i>Acacia rigidula</i>	7
<i>Schaefferia cuneifolia</i>	8	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	8	<i>Diospyros texana</i>	8
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	9	<i>Croton cortesianus</i>	9	<i>Zanthoxylum fagara</i>	9
<i>Celtis pallida</i>	10	<i>Randia sp.</i>	10	<i>Bumelia celastrina</i>	10
<i>Guaiaacum angustifolium</i>	11	<i>Ebenopsis ebano</i>	11	<i>Schaefferia cuneifolia</i>	11
<i>Prosopis sp.</i>	12	<i>Celtis pallida</i>	12	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	12
<i>Lantana macropoda</i>	13	<i>Guaiaacum angustifolium</i>	13	<i>Randia sp.</i>	13
<i>Prosopis laevigata</i>	14	<i>Lantana macropoda</i>	14	<i>Celtis pallida</i>	14
<i>Opuntia engelmannii</i>	15	<i>Prosopis laevigata</i>	15	<i>Acacia berlandieri</i>	15
<i>Bernardia myricaefolia</i>	16	<i>Opuntia engelmannii</i>	16	<i>Acacia farnesiana</i>	16
<i>Croton cortesianus</i>	17	<i>Bernardia myricaefolia</i>	17	<i>Lantana macropoda</i>	17
<i>Cercidium macrum</i>	18	<i>Cercidium macrum</i>	18	<i>Prosopis laevigata</i>	18
<i>Forestiera angustifolia</i>	19	<i>Forestiera angustifolia</i>	19	<i>Bernardia myricaefolia</i>	19
<i>Phaulothamnus spinescens</i>	20	<i>Phaulothamnus spinescens</i>	20	<i>Forestiera angustifolia</i>	20
<i>Jatropha dioica</i>	21	<i>Croton torreyanus</i>	21	<i>Havardia pallens</i>	21
<i>Ziziphus obtusifolia</i>	22	<i>Jatropha dioica</i>	22	<i>Eysenhardtia texana</i>	22
<i>Opuntia leptocaulis</i>	23	<i>Opuntia leptocaulis</i>	23	<i>Viguiera stenoloba</i>	23
<i>Eysenhardtia texana</i>	24	<i>Yucca treculeana</i>	24	<i>Wedelia texana</i>	24
<i>Yucca treculeana</i>	25	<i>Ziziphus obtusifolia</i>	25		

Para el caso de frecuencia fueron diferentes especies las que mostraron los valores máximos como *L. frutescens*, *C. texana* y *A. rigidula*. Respecto al Índice de Valor de Importancia (IVI) las especies con los valores más altos fueron *A. rigidula* (128.7), *C. macrum* (119.42) y *K. humboldtiana* (117.95). Los valores más representativos del Peso Ecológico fueron *A. Rigidula* (28.72), *C. macrum* (9.52) y *K. humboldtiana* (Tabla 7).

En el sitio de China (Tabla 8) *Forestiera angustifolia*, *Opuntia engelmannii* y *Celtis pallida* mostraron los valores más altos de Abundancia con 16.12, 9.25 y 8.66, respectivamente, mientras que *Schaefferia cuneifolia*, *Amyris texana*, *Croton cortesianus*, *Lantana macropoda*, *Cercidium macrum* y *Croton torreyanus* el valor más bajo de 0.30 para todas estas especies. En cuanto a dominancia se refiere, *Prosopis laevigata*, *Ebenopsis ebano* y *Yucca treculeana* presentaron los valores más altos con 17.31, 11.06 y 10.97, respectivamente, y fueron *S. cuneifolia*, *Randia* sp. y *Jatropha dioica* los más bajos con 0.15, 0.50 y 0.66, respectivamente, (Tabla 8). Entre las especies con mayor frecuencia se encuentran *C. texana*, *A. rigidula*, *B. celastrina* entre otras (valor de 100). Las especies con mayor IVI fueron *F. angustifolia* (119.76), *P. laevigata* (119.70) y *A. rigidula* (112.07). Con los valores más pequeños se encontraron *S. cuneifolia* (33.79), *L. macropoda* (34.34) y *A. texana* (34.40). Para el caso del Peso Ecológico *Forestiera angustifolia*, *Prosopis laevigata* y *Ebenopsis ebano* fueron los mas altos con 19.76, 19.70 y 13.15, respectivamente.

Tabla 7  
Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas en el sitio  
Los Ramones

Nombre Científico	A	D	F	IVI	Cob.	NI	PE	IS
<i>Condalia hookeri</i>	0.41	3.90	66.67	70.98	1.60	2	4.34	0.023
<i>Leucophyllum frutescens</i>	4.52	0.56	100.00	105.08	0.23	22	5.08	0.140
<i>Castela texana</i>	4.11	4.42	100.00	108.53	1.81	20	8.55	0.131
<i>Acacia rigidula</i>	24.02	4.66	100.00	128.69	1.91	117	28.72	0.343
<i>Zanthoxylum fagara</i>	1.44	2.06	100.00	103.50	0.84	7	3.51	0.061
<i>Bumelia celastrina</i>	5.13	7.94	66.67	79.74	3.25	25	13.12	0.152
<i>Condalia</i> sp.	1.44	0.67	66.67	68.77	0.27	7	2.11	0.061
<i>Schaefferia cuneifolia</i>	1.03	3.21	66.67	70.91	1.32	5	4.26	0.047
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	14.37	3.57	100.00	117.95	1.47	70	17.97	0.279
<i>Celtis pallida</i>	4.52	5.84	100.00	110.36	2.39	22	10.39	0.140
<i>Guaiacum angustifolium</i>	2.46	1.86	100.00	104.33	0.76	12	4.34	0.091
<i>Prosopis</i> sp.	0.21	5.80	33.33	39.34	2.38	1	6.04	0.013
<i>Lantana macropoda</i>	0.21	1.17	33.33	34.71	0.48	1	1.38	0.013
<i>Prosopis laevigata</i>	1.03	3.59	66.67	71.28	1.47	5	4.63	0.047
<i>Opuntia engelmannii</i>	2.87	0.76	100.00	103.64	0.31	14	3.64	0.102
<i>Bernardia myricaefolia</i>	0.21	0.73	33.33	34.27	0.30	1	0.94	0.013
<i>Croton cortesianus</i>	10.06	0.97	66.67	77.70	0.40	49	11.04	0.231
<i>Cercidium macrum</i>	2.67	16.76	100.00	119.42	6.87	13	19.52	0.097
<i>Forestiera angustifolia</i>	2.87	5.54	100.00	108.41	2.27	14	8.44	0.102
<i>Phaulothamnus spinescens</i>	0.62	16.76	66.67	84.05	6.87	3	17.48	0.031
<i>Jatropha dioica</i>	1.85	1.70	66.67	70.21	0.70	9	3.55	0.074
<i>Ziziphus obtusifolia</i>	0.41	3.38	33.33	37.12	1.39	2	3.81	0.023
<i>Opuntia leptocaulis</i>	8.83	2.04	100.00	110.87	0.84	43	10.89	0.214
<i>Eysenhardtia texana</i>	4.52	1.30	100.00	105.82	0.53	22	5.83	0.140
<i>Yucca treculeana</i>	0.21	0.22	33.33	33.76	0.09	1	0.43	0.013

A= Abundancia; D= Dominancia; F= Frecuencia; IVI = Índice de valor de importancia; Cob.= Cobertura; NI= Número de individuos, PE= Peso ecológico, IS= Índice de diversidad Shannon-Wiener.

Tabla 8

Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas en el sitio de China

Nombre Científico	A	D	F	IVI	Cob.	NI	PE	IS
<i>Amyris texana</i>	0.30	0.77	33.33	34.40	0.60	1	1.07	0.017
<i>Leucophyllum frutescens</i>	0.90	1.15	66.67	68.71	0.89	3	2.04	0.042
<i>Castela texana</i>	7.46	3.59	100.00	111.06	2.78	25	11.06	0.194
<i>Acacia rigidula</i>	2.69	9.39	100.00	112.07	7.27	9	12.07	0.097
<i>Zanthoxylum fagara</i>	0.90	7.14	66.67	74.71	5.53	3	8.04	0.042
<i>Bumelia celastrina</i>	2.99	2.09	100.00	105.07	1.62	10	5.07	0.105
<i>Schaefferia cuneifolia</i>	0.30	0.15	33.33	33.79	0.12	1	0.45	0.017
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	7.46	2.12	100.00	109.59	1.65	25	9.59	0.194
<i>Croton cortesianus</i>	0.30	1.27	33.33	34.90	0.98	1	1.56	0.017
<i>Randia</i> sp.	5.97	0.50	100.00	106.47	0.38	20	6.47	0.168
<i>Ebenopsis ebano</i>	2.09	11.06	66.67	79.82	8.57	7	13.15	0.081
<i>Celtis pallida</i>	8.66	3.36	100.00	112.02	2.60	29	12.02	0.212
<i>Guajacum angustifolium</i>	5.37	1.01	100.00	106.38	0.78	18	6.38	0.157
<i>Lantana macropoda</i>	0.30	0.71	33.33	34.34	0.55	1	1.01	0.017
<i>Prosopis laevigata</i>	2.39	17.31	100.00	119.70	13.41	8	19.70	0.089
<i>Opuntia engelmannii</i>	9.25	2.28	100.00	111.53	1.77	31	11.53	0.220
<i>Bernardia myricaefolia</i>	1.49	0.88	33.33	35.70	0.68	5	2.37	0.063
<i>Croton cortesianus</i>	7.16	0.96	100.00	108.13	0.75	24	8.13	0.189
<i>Cercidium macrum</i>	0.30	8.40	33.33	42.04	6.51	1	8.70	0.017
<i>Forestiera angustifolia</i>	16.12	3.64	100.00	119.76	2.82	54	19.76	0.294
<i>Phaulothamnus spinescens</i>	4.48	4.82	66.67	75.97	3.74	15	9.30	0.139
<i>Croton torreyanus</i>	0.30	1.34	33.33	34.97	1.04	1	1.64	0.017
<i>Jatropha dioica</i>	4.18	0.66	33.33	38.18	0.52	14	4.84	0.133
<i>Opuntia leptocaulis</i>	5.07	1.05	66.67	72.79	0.82	17	6.13	0.151
<i>Yucca treculeana</i>	0.60	10.97	100.00	111.57	8.50	2	11.57	0.031
<i>Ziziphus obtusifolia</i>	2.99	3.36	66.67	73.01	2.60	10	6.34	0.105

A= Abundancia; D= Dominancia; F= Frecuencia; IVI = Índice de valor de importancia; Cob.= Cobertura; NI= Número de individuos, PE= Peso ecológico, IS= Índice de diversidad Shannon-Wiener.



En Linares (Tabla 9) las especies con los valores de abundancia mas elevados fueron *V. stenoloba* (18.61), *H. pallens* (18.17) y *A. rigidula* (14.04), mientras que *H. parvifolia* (0.22), *C. pallida* (0,22) y *S. cuneifolia* (0.33) se encontraron como los mas bajos. En cuanto a dominancia, las especies más dominantes fueron *B. celastrina* (20.28), *H. parvifolia* (13.38) y *A. berlandieri* (10.48), contrariamente *Randia* sp., *K. humboldtiana* y *A. texana* fueron las menos las menos dominantes con 0.31, 0.77 y 1.20, respectivamente. Las especies con mayor frecuencia son *C. boissieri*, *A. rigidula*, *D. texana* entre otras. En cuanto al I.V.I. se encontró que *H. pallens* (121.37), *V. stenoloba* (120.19) y *A. rigidula* (117.92) cuentan con los valores más altos, mientras que *S. cuneifolia*, *P. laevigata* y *L. frutescens* con los más bajos con 36.11, 39.83 y 40.40, respectivamente. Respecto al peso ecológico son *V. stenoloba*, *H. pallens* y *A. rigidula* las de mayor valor con 283.89, 278.90 y 216.85, respectivamente, en tanto que *Randia* sp. (5.26), *C. pallida* (5.55) y *S. cuneifolia* (7.40) se presentan con los valores más bajos.

De las especies estudiadas, en el sitio de Los Ramones las que presentaron en general los valores más altos fueron *A. rigidula*, *K. humboldtiana* y *C. cortesianus*. Para el caso de China fueron *F. angustifolia*, *C. pallida*, *C. texana*, *K. humboldtiana*, *C. cortesianus* y para Linares *A. rigidula*, *C. texana*, *L. macropoda*, *F. angustifolia*, *L. frutescens*, *Z. fagara* y *K. humboldtiana*. Además, demuestran ser las especies con los valores más altos en relación al peso ecológico dentro de las comunidades vegetales muestreadas. En virtud de lo anterior, se considera que dichas especies son las de mayor importancia en los ecosistemas presentes en los sitios de estudio.

Derivado del número de especies identificadas en el muestreo cualitativo y con el número de individuos cuantificados para cada uno de los sitios de estudio se estimaron los índices de riqueza a través de los métodos de Margaleff, Gleason y Menhinick (Tabla 10), así como el de diversidad de especies. En el sitio de Los Ramones se obtuvieron los valores de 3.878, 4.039 y 5.321, respectivamente. Para China los valores fueron 4.299, 4.472 y 1.42. Para el caso de Linares fueron de 3.371, 3.517 y 0.792, siendo en este último en donde se observaron los valores relativos más bajos (Tabla 10).

### **5.1.2 Índice de Shannon-Wiener.**

Los resultados obtenidos después de aplicar el Índice de Shannon-Wiener son los siguientes: en el sitio de Los Ramones se obtuvo un valor de 2.579, para China 2.809 y para Linares de 2.460; lo cual indica que la diversidad en los sitios de muestreo se caracterizan como media en comparación con determinaciones similares obtenidas en análisis tipo para la región. Lo anterior se traduce en que el ecosistema cuenta con una relevancia ecológica media.

Tabla 9

Parámetros ecológicos estimados para las especies identificadas en el sitio de Linares

Nombre Científico	A	D	F	IVI	Cob.	NI	PE	IS
<i>Cordia boissieri</i>	0.44	4.17	100.00	104.61	2.53	4	10.77	0.024
<i>Helietta parvifolia</i>	0.22	13.38	66.67	80.27	8.11	2	16.68	0.013
<i>Amyris texana</i>	2.29	1.20	66.67	70.15	0.72	21	35.87	0.086
<i>Condalia hookeri</i>	0.44	3.45	66.67	70.55	2.09	4	10.05	0.024
<i>Leucophyllum frutescens</i>	5.01	2.06	33.33	40.40	1.25	46	78.01	0.150
<i>Castela texana</i>	8.71	2.18	66.67	77.55	1.32	80	134.26	0.213
<i>Acacia rigidula</i>	14.04	3.88	100.00	117.92	2.35	129	216.85	0.276
<i>Dyospiros texana</i>	2.18	5.02	100.00	107.19	3.04	20	38.04	0.083
<i>Zanthoxylum fagara</i>	4.57	2.14	100.00	106.71	1.30	42	71.48	0.141
<i>Bumelia celastrina</i>	0.65	20.28	66.67	87.60	12.29	6	30.19	0.033
<i>Schaefferia cuneifolia</i>	0.33	2.45	33.33	36.11	1.48	3	7.40	0.019
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	4.03	0.77	100.00	104.80	0.47	37	61.86	0.129
<i>Randia</i> sp.	0.33	0.31	66.67	67.30	0.19	3	5.26	0.019
<i>Celtis pallida</i>	0.22	2.25	66.67	69.13	1.36	2	5.55	0.013
<i>Acacia berlandieri</i>	0.76	10.48	33.33	44.57	6.35	7	22.03	0.037
<i>Acacia farnesiana</i>	0.33	2.72	33.33	36.38	1.65	3	7.68	0.019
<i>Lantana macropoda</i>	8.27	1.30	66.67	76.24	0.79	76	126.77	0.206
<i>Prosopis laevigata</i>	0.11	6.39	33.33	39.83	3.87	1	8.04	0.007
<i>Bernardia myricaefolia</i>	1.74	2.59	66.67	71.00	1.57	16	29.00	0.071
<i>Forestiera angustifolia</i>	6.20	2.65	100.00	108.85	1.61	57	96.75	0.172
<i>Havardia pallens</i>	18.17	3.19	100.00	121.37	1.93	167	278.90	0.310
<i>Eysenhartia texana</i>	1.85	2.38	100.00	104.23	1.44	17	30.44	0.074
<i>Viguera stenoloba</i>	18.61	1.58	100.00	120.19	0.96	171	283.89	0.313
<i>Wedelia texana</i>	0.54	3.18	66.67	70.39	1.93	5	11.43	0.028

A= Abundancia; D= Dominancia; F= Frecuencia; IVI = Índice de valor de importancia; Cob.= Cobertura; NI= Número de individuos, PE= Peso ecológico, IS= Índice de diversidad Shannon-Wiener.

Tabla 10  
Valores calculados de los Índices de Riqueza para los sitios de estudio

Índice de Riqueza	Sitios de muestreo		
	Los Ramones	China	Linares
Margaleff	3.878	4.299	3.370
Gleason	4.039	4.471	3.517
Menhinick	5.321	1.420	0.791

## 5.2 Pigmentos Vegetales

El contenido de clorofila **a** fue significativamente diferente entre años, estaciones y entre plantas dentro de años y estaciones (Tabla 11). Durante el primer año, en el sitio de los Ramones, el contenido de clorofila **a** en el arbusto *A. rigidula* (verano 2004) fue más bajo ( $0.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  peso fresco (pf)) y en el árbol *P. laevigata* (primavera 2005; Tabla 12) fue más alto ( $1.1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf). Inversamente, en el segundo año, los valores más bajos ( $0.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) fueron encontrados en *L. macropoda* en el invierno del 2006 y los más altos ( $0.9 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) en *C. pallida* durante el verano del 2005 (Tabla 12).

En el sitio de China (Tabla 12), *C. cortesianus* (otoño 2004) y *L. macropoda* (primavera 2005) alcanzaron los valores más bajos (0.4) y los más altos (1.8) en el contenido de clorofila **a**, respectivamente. Durante el segundo año, *C. cortesianus* (invierno 2006) y *A. rigidula* (verano 2005) adquirieron el contenido más bajo (0.3) y el más alto (1.2), respectivamente. En Linares (Tabla 12), durante el primer año, fueron registrados el contenido más alto (1.2) y el más bajo (0.3) en *P. laevigata* durante otoño 2004 y *B. celastrina* en invierno 2005, respectivamente. Sin embargo, durante el segundo año, *L. macropoda* y *P. laevigata* resultaron con el contenido más bajo de clorofila **a** (0.4) y el más alto (1.4) durante el invierno del 2006 y primavera del 2006 respectivamente.

En los sitios de Los Ramones y China, el contenido de clorofila **a**, en todas las plantas, resultaron más altas en el primer año que en el segundo. Contrario a ello, en Linares, el segundo año fue más alto. Esto hace suponer, que todas las plantas tienen un contenido más alto de clorofila **a** en Linares (promedio general =  $0.79 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) que China (0.71) o Los Ramones (0.66). Durante la estación de otoño (promedio general =  $0.73 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) e invierno (0.72) la clorofila **a** fue más alta que verano (0.68) o

primavera (0.69). En general, esto indica que las especies de la familia Fabaceae muestran el contenido más alto de clorofila **a** ( $0.74 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) que las especies que no pertenecen a esta familia (0.68; Tabla 13). Adicionalmente, las especies arbóreas fueron más altas ( $0.76 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) que las arbustivas (0.68; Tabla 14).

El contenido de clorofila **b** fue significativamente diferente entre los años de muestreo, estaciones y entre plantas entre los años y las estaciones (Tabla 11). Durante el primer año en el sitio de Los Ramones (Tabla 15) el contenido de clorofila **b** en el arbusto *A. rigidula* (verano) fue el más bajo ( $0.2 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de peso fresco) y en *L. frutescens* (verano) fue el más alto (0.4). Por otra parte, en el segundo año *A. rigidula* (verano) fue más bajo (0.03) y *C. cortesianus* (primavera) fue más alto (0.4). En lo que se refiere al segundo año de muestreo *A. rigidula* (invierno) fue el más bajo (0.03) y *C. cortesianus* (primavera) fue el más alto (0.4). En China (Tabla 15), los valores más bajos (0.1) fueron detectados en *C. texana* en primavera y el más alto (0.6) en *L. macropoda* en primavera también. Durante el segundo año, el contenido de clorofila **b** sigue un patrón similar al del primer año. En Linares (Tabla 15), durante el primer año, los valores más bajo (0.1) y más alto (0.6) fueron observados en *F. angustifolia* y *L. frutescens* durante verano 2004, respectivamente. Contrariamente, en el segundo año, *C. pallida* en el invierno del 2005 fue más alto (0.1) y *K. humboldtiana* en otoño fue el más bajo (0.6). En todas las especies el contenido de clorofila **b** anual y estacional siguieron una tendencia similar al de la clorofila **a**; Linares fue marginalmente más alto (promedio general =  $0.29 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  peso fresco) que Los Ramones (0.25) o China (0.23).

Tabla 11

Valores del cuadrado medio (CM) calculado del análisis estadístico correspondiente a los datos colectados entre verano 2004 y primavera 2006 de once especies de plantas del noreste de México

Sitios	Fuentes de variación	Clorofila <b>a</b>			Clorofila <b>b</b>			Carotenoides		
		CM	ValorF	Sig	CM	ValorF	Sig	CM	ValorF	Sig
Los Ramones	Años	0.3	25	***	0.2	152	***	0.02	21	***
	Estaciones	0.1	6	***	0.1	63	***	0.1	96	***
	Especies	0.1	11	***	0.01	5	***	0.03	34	***
	A*E	0.3	28	***	0.1	35	***	0.02	20	***
	A*Sp	0.04	4	***	0.01	5	***	0.001	1	**
	E*Sp	0.1	7	***	0.01	8	***	0.01	5	***
	A*E*Sp	0.1	8	***	0.01	4	***	0.01	5	***
	Error	0.01			0.002			0.001		
China	Años	0.2	15	***	0.2	53	***	0.01	9	***
	Estaciones	0.03	3	*	0.2	61	***	0.1	79	***
	Especies	0.4	33	***	0.1	14	***	0.1	108	***
	A*E	0.1	11	***	0.02	8	***	0.01	22	***
	A*Sp	0.1	10	***	0.01	5	***	0.01	8	ns
	E*Sp	0.1	8	***	0.01	3	***	0.01	11	***
	A*E*Sp	0.1	11	***	0.01	4	***	0.01	6	***
	Error	0.01			0.003			0.001		
Linares	Años	0.6	38	***	0.02	6	**	0.04	31	***
	Estaciones	0.1	6	***	0.2	51	***	0.1	70	***
	Especies	0.2	13	***	0.1	18	***	0.04	36	***
	A*E	1.0	47	***	0.1	44	***	0.04	32	***
	A*Sp	0.1	9	***	0.01	4	***	0.01	5	***
	E*Sp	0.1	9	***	0.02	7	***	0.01	6	***
	A*E*Sp	0.1	6	***	0.02	7	***	0.01	4	***
	Error	0.01			0.003			0.001		

CM = Cuadrado medio; A = Año; E = Estaciones; Sp = Especies de plantas; Sig = Nivel de significancia; \*(P<0.05); \*\*\*(P<0.001); ns = no significativo.

Tabla 12

Contenido estacional (mg g<sup>-1</sup> pf) de clorofila **a** en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once árboles y arbustos nativos

Sitio	Año	Estación	Especies de plantas										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	0.55	0.78	0.71	0.3	0.69	0.4	0.6	0.71	0.49	0.64	0.63
		Oto-04	0.54	0.82	0.85	0.7	0.74	0.6	0.6	0.93	0.44	0.52	0.52
		Inv-05	0.60	0.69	0.57	0.9	0.96	0.5	0.8	0.80	0.87	0.82	0.79
		Pri-05	0.83	0.58	0.73	0.7	0.85	1.0	0.5	0.68	0.58	0.93	0.50
		Media	0.64	0.71	0.71	0.7	0.82	0.6	0.6	0.78	0.61	0.74	0.61
	2	Ver-05	0.63	0.48	0.69	0.6	0.85	0.5	0.8	0.81	0.55	0.63	0.48
		Oto-05	0.55	0.55	0.74	0.8	0.85	0.8	0.7	0.65	0.50	0.76	0.77
		Inv-06	0.53	0.47	0.78	0.8	0.71	0.6	0.5	0.48	0.48	0.28	0.56
		Pri-06	0.64	0.53	0.54	0.4	0.65	0.6	0.6	0.55	0.51	0.77	0.51
		Media	0.59	0.51	0.69	0.7	0.76	0.6	0.7	0.62	0.51	0.61	0.58
China	1	Ver-04	0.52	0.78	0.65	0.4	0.80	0.9	0.6	0.67	0.56	0.80	0.39
		Oto-04	0.35	0.80	0.89	1.0	0.67	0.7	0.6	1.08	0.74	0.79	0.46
		Inv-05	0.94	0.81	0.76	0.9	0.65	0.7	0.8	0.81	0.63	0.82	0.58
		Pri-05	0.58	0.78	0.63	0.7	0.74	1.0	0.4	0.42	0.69	1.79	0.44
		Media	0.58	0.79	0.72	0.8	0.71	0.8	0.6	0.77	0.66	1.01	0.47
	2	Ver-05	0.43	0.67	0.65	1.1	0.70	0.7	0.7	0.69	0.91	0.66	0.45
		Oto-05	0.41	0.71	0.51	1.0	0.86	0.7	0.6	0.83	0.57	0.96	0.68
		Inv-06	0.30	0.66	0.90	0.6	0.92	0.6	0.3	0.59	0.76	0.51	0.59
		Pri-06	0.54	0.81	0.57	0.6	0.77	0.7	0.5	0.88	0.88	0.72	0.39
		Media	0.42	0.71	0.66	0.8	0.81	0.7	0.5	0.75	0.78	0.71	0.53
Linares	1	Ver-04	0.57	0.92	0.63	0.6	1.02	0.6	0.5	0.46	0.35	0.72	0.48
		Oto-04	0.45	0.66	1.01	0.6	0.92	0.2	0.6	0.52	0.51	0.55	0.55
		Inv-05	0.84	0.90	0.98	0.5	1.19	0.7	0.8	0.69	0.77	1.03	1.02
		Pri-05	0.61	0.83	0.71	0.9	0.45	0.6	0.5	0.49	0.59	0.86	0.62
		Media	0.62	0.82	0.83	0.6	0.92	0.5	0.6	0.54	0.57	0.79	0.64
	2	Ver-05	0.67	0.67	0.76	0.8	1.24	1.0	0.9	0.67	0.85	0.65	0.53
		Oto-05	0.77	0.93	1.24	0.7	0.98	0.6	1.0	1.17	0.68	1.21	0.56
		Inv-06	0.50	0.95	0.87	0.7	0.69	0.8	0.6	0.59	0.55	0.48	0.72
		Pri-06	0.84	0.56	0.48	0.6	0.84	1.4	0.6	0.74	0.74	0.57	0.54
		Media	0.70	0.78	0.84	0.7	0.94	0.9	0.8	0.79	0.71	0.73	0.59

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.



Durante primavera, verano y otoño el contenido de clorofila **b** ( $0.28 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  peso fresco) fue mayor que invierno (0.19). En general, las especies de la familia Fabaceae mostraron el contenido muy similar de clorofila **b** ( $0.23 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) que las no Fabaceae (0.26; Tabla 12). Además, las arbustivas fueron muy similares ( $0.26 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  peso fresco) a las arbóreas (0.24; Tabla 14).

Con excepción de la interacción año\*especies de planta en Los Ramones, el contenido de carotenoides fue significativamente diferente entre años, estaciones y entre plantas dentro de años y estaciones (Tabla 11). En los Ramones (Tabla 16), durante el primer año, se mostró el valor menor ( $0.1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pf) y el más alto ( $0.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en *P. laevigata* (verano) and *K. humboldtiana* (otoño), respectivamente. En el segundo año, fueron observados el valor más bajo (0.1) y el más alto (0.4) en *A. rigidula* (primavera) y *K. humboldtiana* (verano), respectivamente. Durante el primer año, en China, *C. texana* (verano) y *K. humboldtiana* (invierno) fueron el más bajo (0.1) y el más alto (0.5), respectivamente. Sin embargo, en el segundo año, *C. texana* (primavera) fue el más bajo (0.03) y *K. humboldtiana* (invierno) el más alto (0.5). En Linares (Tabla 16), durante el primer año, las concentraciones mínimas (0.03) y máximas (0.4) fueron registradas in *C. cortesianus* (verano) y *K. humboldtiana* (invierno). Durante el segundo año, *C. texana* (primavera) fue el más bajo (0.1) y *K. humboldtiana* (otoño) fue más alto (0.5). Se encontraron diferencias mínimas en todas las plantas entre los sitios de estudio siendo el promedio general de  $0.20 \text{ mg}$  de carotenoids  $\text{g}^{-1}$  de peso fresco. Parece que durante otoño ( $0.22 \text{ mg g}^{-1}$  de peso fresco) e invierno (0.23) los carotenoides fueron más altos que en verano (0.17) o primavera (0.17). En general, las Fabaceae y las no Fabaceae muestran un contenido similar del contenido de carotenoides ( $0.20 \text{ mg g}^{-1}$  de peso fresco; Tabla 13).

Tabla 13

Contenido estacional de clorofila **a**, clorofila **b** y carotenoides en los sitios de Los Ramones, China y Linares entre árboles y arbustos nativos pertenecientes a la familia Fabaceae y no Fabaceae

Sitio	Año	Estación	Clorofila <b>a</b>			Clorofila <b>b</b>			Carotenoides		
			Fab.	No Fab.	Prob.	Fab.	No Fab.	Prob.	Fab.	No Fab.	Prob.
Los Ramones	1	Ver-04	0.37	0.65	***	0.26	0.33	**	0.09	0.17	***
		Oto-04	0.71	0.66	ns	0.26	0.24	ns	0.24	0.22	ns
		Inv-05	0.74	0.79	ns	0.24	0.24	ns	0.21	0.23	ns
		Pri-05	0.89	0.70	***	0.24	0.27	ns	0.20	0.19	ns
	2	Ver-05	0.60	0.67	ns	0.20	0.23	ns	0.17	0.16	ns
		Oto-05	0.85	0.68	***	0.23	0.24	ns	0.23	0.21	*
		Inv-06	0.73	0.54	***	0.12	0.12	ns	0.24	0.23	ns
		Pri-06	0.56	0.59	ns	0.24	0.25	ns	0.11	0.14	**
China	1	Ver-04	0.74	0.65	ns	0.25	0.32	**	0.16	0.17	*
		Oto-04	0.90	0.71	**	0.29	0.29	ns	0.25	0.20	***
		Inv-05	0.84	0.75	ns	0.22	0.22	ns	0.23	0.24	ns
		Pri-05	0.93	0.71	***	0.24	0.29	**	0.22	0.20	ns
	2	Ver-05	0.99	0.65	***	0.22	0.25	ns	0.22	0.17	ns
		Oto-05	0.87	0.68	***	0.24	0.26	ns	0.25	0.21	ns
		Inv-06	0.64	0.62	ns	0.07	0.13	***	0.23	0.24	ns
		Pri-06	0.68	0.68	ns	0.22	0.29	**	0.17	0.14	*
Linares	1	Ver-04	0.61	0.63	ns	0.19	0.32	***	0.17	0.14	**
		Oto-04	0.47	0.63	*	0.28	0.27	**	0.20	0.19	ns
		Inv-05	0.62	0.92	***	0.22	0.28	***	0.17	0.26	***
		Pri-05	0.79	0.64	**	0.29	0.30	ns	0.23	0.18	***
	2	Ver-05	0.95	0.78	***	0.25	0.26	ns	0.20	0.18	*
		Oto-05	0.69	0.96	***	0.23	0.39	***	0.27	0.27	ns
		Inv-06	0.79	0.67	*	0.19	0.15	*	0.24	0.22	ns
		Pri-06	1.04	0.66	***	0.31	0.29	ns	0.21	0.17	ns

Fab.= Fabaceae, No Fab.= No Fabaceae. Prob = \*(P<0.05); \*\*(P<0.01); \*\*\* (P< 0.001); ns = no significante. Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

Tabla 14

Contenido estacional de clorofila **a**, clorofila **b** y carotenoides en los sitios de Los Ramones, China y Linares entre especies de plantas nativas agrupadas como arbustivas y arbóreas.

Sitio	Año	Estación	Clorofila <b>a</b>			Clorofila <b>b</b>			Carotenoides		
			Fab.	No Fab.	Prob.	Fab.	No Fab.	Prob	Fab.	No Fab.	Prob.
Los Ramones	1	Ver-04	0.59	0.60	ns	0.31	0.34	*	0.16	0.15	ns
		Oto-04	0.63	0.76	***	0.25	0.24	ns	0.21	0.23	ns
		Inv-05	0.78	0.77	ns	0.24	0.24	ns	0.22	0.23	ns
		Pri-05	0.68	0.87	***	0.25	0.29	*	0.19	0.21	ns
	2	Ver-05	0.62	0.74	**	0.22	0.24	*	0.16	0.17	ns
		Oto-05	0.69	0.77	**	0.24	0.23	ns	0.21	0.21	ns
		Inv-06	0.56	0.61	ns	0.14	0.08	***	0.22	0.27	***
		Pri-06	0.58	0.61	ns	0.27	0.20	***	0.13	0.13	ns
	1	Ver-04	0.61	0.81	***	0.33	0.26	***	0.17	0.19	*
		Oto-04	0.70	0.85	*	0.28	0.32	ns	0.20	0.22	*
		Inv-05	0.79	0.72	*	0.23	0.18	***	0.25	0.21	**
		Pri-05	0.75	0.75	*	0.29	0.24	***	0.21	0.19	ns
China	2	Ver-05	0.70	0.73	ns	0.26	0.21	**	0.18	0.19	ns
		Oto-05	0.69	0.80	**	0.25	0.27	ns	0.21	0.23	**
		Inv-06	0.59	0.71	***	0.13	0.11	*	0.23	0.25	ns
		Pri-06	0.63	0.80	***	0.28	0.27	ns	0.14	0.18	***
	1	Ver-04	0.61	0.67	ns	0.32	0.24	**	0.14	0.17	*
		Oto-04	0.61	0.56	ns	0.29	0.23	*	0.19	0.20	ns
		Inv-05	0.86	0.87	ns	0.27	0.26	ns	0.25	0.23	ns
		Pri-05	0.71	0.54	***	0.30	0.29	ns	0.20	0.16	**
Linares	2	Ver-05	0.74	0.99	***	0.25	0.30	**	0.18	0.22	***
		Oto-05	0.91	0.92	ns	0.37	0.35	ns	0.27	0.28	ns
		Inv-06	0.68	0.70	ns	0.17	0.13	ns	0.21	0.24	ns
		Pri-06	0.63	0.99	***	0.27	0.37	***	0.16	0.23	***

Fab.= Fabaceae, No Fab.= No Fabaceae. Prob = \*(P<0.05); \*\*(P<0.01); \*\*\* (P< 0.001); ns = no significante. Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

Tabla 15

Contenido estacional (mg·g<sup>-1</sup> pf) de clorofila **b** en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once  
arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especies de plantas										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	0.34	0.40	0.29	0.15	0.35	0.37	0.2	0.30	0.31	0.3	0.32
		Oto-04	0.24	0.28	0.28	0.34	0.30	0.19	0.2	0.30	0.21	0.2	0.21
		Inv-05	0.17	0.26	0.24	0.25	0.27	0.22	0.2	0.22	0.32	0.2	0.25
		Pri-05	0.30	0.22	0.29	0.22	0.27	0.26	0.1	0.33	0.22	0.3	0.23
		Media	0.26	0.29	0.28	0.24	0.28	0.26	0.2	0.29	0.27	0.2	0.25
	2	Ver-05	0.23	0.21	0.22	0.19	0.26	0.22	0.2	0.24	0.19	0.2	0.20
		Oto-05	0.22	0.20	0.30	0.25	0.23	0.20	0.2	0.25	0.17	0.3	0.20
		Inv-06	0.17	0.15	0.12	0.15	0.18	0.09	0.0	0.01	0.23	0.1	0.16
		Pri-06	0.41	0.24	0.28	0.30	0.20	0.18	0.2	0.21	0.24	0.2	0.19
		Media	0.26	0.20	0.23	0.22	0.21	0.17	0.2	0.16	0.21	0.2	0.19
China	1	Ver-04	0.27	0.46	0.42	0.25	0.28	0.25	0.2	0.25	0.36	0.4	0.18
		Oto-04	0.23	0.31	0.31	0.31	0.28	0.27	0.3	0.41	0.28	0.3	0.16
		Inv-05	0.25	0.24	0.29	0.24	0.17	0.19	0.3	0.18	0.16	0.2	0.16
		Pri-05	0.33	0.26	0.32	0.26	0.26	0.23	0.2	0.22	0.25	0.5	0.15
		Media	0.27	0.31	0.33	0.27	0.25	0.23	0.2	0.27	0.26	0.3	0.16
	2	Ver-05	0.32	0.28	0.24	0.26	0.20	0.19	0.2	0.24	0.29	0.2	0.16
		Oto-05	0.26	0.26	0.22	0.31	0.31	0.16	0.2	0.34	0.21	0.3	0.21
		Inv-06	0.07	0.18	0.20	0.09	0.18	0.06	0.1	0.08	0.21	0.1	0.05
		Pri-06	0.30	0.43	0.29	0.24	0.24	0.19	0.2	0.38	0.25	0.2	0.28
		Media	0.24	0.29	0.23	0.23	0.23	0.15	0.2	0.26	0.24	0.2	0.16
Linares	1	Ver-04	0.40	0.64	0.30	0.24	0.40	0.15	0.3	0.19	0.14	0.3	0.21
		Oto-04	0.31	0.17	0.34	0.36	0.21	0.19	0.3	0.27	0.18	0.3	0.23
		Inv-05	0.25	0.29	0.35	0.25	0.37	0.19	0.2	0.20	0.21	0.3	0.29
		Pri-05	0.28	0.45	0.33	0.28	0.30	0.30	0.2	0.27	0.27	0.3	0.23
		Media	0.30	0.39	0.34	0.28	0.33	0.22	0.2	0.23	0.20	0.3	0.24
	2	Ver-05	0.33	0.26	0.26	0.24	0.36	0.26	0.3	0.24	0.23	0.1	0.15
		Oto-05	0.37	0.38	0.56	0.27	0.46	0.19	0.4	0.40	0.25	0.3	0.34
		Inv-06	0.14	0.34	0.19	0.18	0.10	0.20	0.0	0.09	0.10	0.1	0.12
		Pri-06	0.32	0.21	0.28	0.24	0.38	0.39	0.3	0.35	0.29	0.2	0.19
		Media	0.29	0.30	0.32	0.23	0.33	0.26	0.2	0.27	0.22	0.2	0.20

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

Tabla 16

Contenido estacional (mg·g<sup>-1</sup> pf) de carotenoides en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once

arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especies de plantas										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	0.15	0.15	0.24	0.10	0.17	0.07	0.17	0.20	0.14	0.16	0.13
		Oto-04	0.16	0.18	0.31	0.28	0.22	0.21	0.23	0.29	0.24	0.18	0.17
		Inv-05	0.20	0.15	0.27	0.24	0.24	0.18	0.28	0.27	0.23	0.23	0.22
		Pri-05	0.20	0.16	0.30	0.17	0.19	0.23	0.17	0.20	0.18	0.21	0.13
		Media	0.18	0.16	0.28	0.20	0.21	0.18	0.22	0.24	0.20	0.20	0.16
	2	Ver-05	0.16	0.11	0.23	0.22	0.18	0.12	0.21	0.20	0.13	0.12	0.11
		Oto-05	0.19	0.15	0.23	0.27	0.21	0.18	0.20	0.24	0.17	0.26	0.19
		Inv-06	0.15	0.16	0.37	0.28	0.21	0.21	0.23	0.37	0.21	0.13	0.18
		Pri-06	0.13	0.11	0.18	0.09	0.14	0.13	0.15	0.12	0.13	0.17	0.11
		Media	0.16	0.13	0.25	0.21	0.18	0.16	0.20	0.24	0.16	0.17	0.15
China	1	Ver-04	0.14	0.13	0.41	0.13	0.15	0.19	0.17	0.21	0.09	0.19	0.09
		Oto-04	0.10	0.19	0.31	0.25	0.15	0.24	0.18	0.27	0.22	0.18	0.13
		Inv-05	0.25	0.21	0.46	0.25	0.18	0.21	0.23	0.24	0.23	0.21	0.16
		Pri-05	0.15	0.15	0.30	0.21	0.18	0.23	0.19	0.17	0.20	0.36	0.11
		Media	0.16	0.17	0.37	0.21	0.16	0.22	0.20	0.22	0.19	0.23	0.12
	2	Ver-05	0.10	0.14	0.25	0.25	0.16	0.19	0.21	0.20	0.20	0.17	0.14
		Oto-05	0.11	0.18	0.28	0.27	0.21	0.22	0.22	0.26	0.18	0.23	0.17
		Inv-06	0.13	0.20	0.49	0.26	0.24	0.21	0.16	0.29	0.20	0.18	0.24
		Pri-06	0.10	0.10	0.23	0.14	0.14	0.21	0.14	0.19	0.20	0.15	0.03
		Media	0.11	0.16	0.31	0.23	0.19	0.21	0.18	0.24	0.19	0.18	0.15
Linares	1	Ver-04	0.03	0.15	0.18	0.21	0.21	0.14	0.12	0.14	0.12	0.19	0.11
		Oto-04	0.12	0.23	0.28	0.20	0.24	0.19	0.21	0.18	0.18	0.17	0.12
		Inv-05	0.22	0.24	0.36	0.15	0.30	0.19	0.26	0.20	0.25	0.25	0.25
		Pri-05	0.16	0.16	0.28	0.25	0.10	0.21	0.17	0.18	0.18	0.21	0.16
		Media	0.14	0.20	0.28	0.20	0.21	0.18	0.19	0.18	0.19	0.21	0.16
	2	Ver-05	0.14	0.13	0.24	0.19	0.26	0.22	0.22	0.17	0.20	0.16	0.13
		Oto-05	0.21	0.22	0.51	0.29	0.28	0.25	0.29	0.31	0.22	0.23	0.20
		Inv-06	0.17	0.27	0.35	0.24	0.27	0.23	0.17	0.21	0.17	0.14	0.20
		Pri-06	0.20	0.15	0.23	0.17	0.22	0.25	0.12	0.21	0.18	0.13	0.11
		Media	0.18	0.19	0.32	0.22	0.26	0.24	0.20	0.23	0.19	0.16	0.16

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

## **5.3 Contenido Mineral**

### **5.3.1 Calcio**

La concentración de Ca, en todas las especies de plantas, fue significativamente diferente entre años, estaciones y entre plantas dentro de años y estaciones (Tabla 17). En Los Ramones, durante el primer año de muestreo, la concentración promedio general de Ca fue más elevada en invierno y la más baja en verano del 04 (Tabla 18). En el segundo año, en verano las plantas presentaron el mayor contenido de Ca y en primavera el más bajo. En China, en el primer año, las plantas registraron las mayores concentraciones de Ca en otoño y en verano las más bajas. En el segundo año, los valores más altos se observaron en verano y las más bajas en primavera. En Linares, en el primer año, durante el verano se registraron los valores más altos en Ca y los más bajos en primavera.

### **5.3.2 Magnesio**

El Mg presentó diferencias significativas en los años y estaciones de muestreo en los tres sitios. En el caso de las especies vegetales en los sitios de China y Linares se presentaron diferencias significativas pero no así en el sitio de los Ramones. En las interacciones año\*estación, año\*especie vegetal y año\*estación\*especie vegetal solo en China se encontraron diferencias significativas (Tabla 19). En Los Ramones, las concentraciones de Mg se distribuyen uniformemente y en ciertas estaciones del año, tal es el caso del primer año de muestreo se presentan los valores más elevados en otoño (Tabla 20) y los más bajos en primavera.

Tabla 17

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de Ca en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitios					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	328	***	515	***	241	***
Estación (E)	15	***	17	***	72	***
Especie (EV)	50	***	94	***	75	***
A*E	26	***	76	***	31	***
A*EV	12	***	10	***	3	**
E*EV	6	***	5	***	8	***
A*E*EV	7	***	7	***	4	***
Error	39293		20673		26865	

\*\* (  $P < 0.001$ ); \*\*\* (  $P < 0.001$ ).

Tabla 18

Contenido estacional (g kg<sup>-1</sup> base seca) de Ca en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once

arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	34.3	14.0	43.1	28.4	27.3	28.0	95.2	41.2	19.6	62.7	40.0
		Oto-04	51.4	26.4	63.8	41.2	64.4	30.5	134.0	75.7	30.5	91.9	47.3
		Inv-05	26.8	37.5	59.9	44.5	86.3	26.2	83.0	66.7	26.7	244.6	88.3
		Pri-05	21.8	13.9	51.1	50.3	38.9	53.7	127.7	81.8	91.8	77.1	52.3
		Media	33.6	22.9	54.5	41.1	54.2	34.6	110.0	66.3	42.1	119.1	57.0
	2	Ver-05	28.1	20.4	46.3	23.8	18.1	18.4	91.9	27.6	23.6	45.0	27.1
		Oto-05	16.1	9.3	24.7	15.5	12.6	8.2	47.3	19.8	11.8	27.9	20.7
		Inv-06	22.1	19.8	36.3	29.4	23.1	10.9	67.7	36.4	25.5	37.5	35.1
		Pri-06	12.2	8.6	17.5	5.8	9.1	5.0	31.1	11.1	6.1	27.7	13.4
		Media	19.6	14.5	31.2	18.6	15.7	10.6	59.5	23.7	16.7	34.6	24.1
China	1	Ver-04	21.8	22.4	41.0	24.3	26.3	38.8	90.1	24.9	16.0	36.0	52.2
		Oto-04	60.9	25.2	69.1	45.5	57.0	37.9	185.2	61.4	59.2	95.3	102.4
		Inv-05	23.9	15.9	87.6	52.5	43.8	12.6	106.6	55.6	22.9	59.9	66.2
		Pri-05	30.2	21.8	54.8	59.4	65.2	25.9	99.1	51.4	35.1	90.1	60.6
		Media	34.2	21.3	63.1	45.4	48.1	28.8	120.2	48.3	33.3	70.3	70.3
	2	Ver-05	31.4	12.5	46.9	27.6	11.2	17.9	134.0	30.6	14.4	59.7	24.1
		Oto-05	12.9	7.5	23.4	14.8	10.0	10.1	46.7	19.4	14.7	35.0	17.5
		Inv-06	12.0	6.0	24.5	24.1	10.8	6.2	33.1	21.2	16.6	32.7	24.8
		Pri-06	10.2	5.7	16.5	10.9	12.2	10.5	36.3	13.1	6.5	24.5	20.9
		Media	16.6	7.9	27.8	19.3	11.0	11.2	62.5	21.1	13.0	38.0	21.8
Linares	1	Ver-04	52.9	38.4	93.8	55.1	65.7	65.0	212.4	51.9	60.6	73.0	83.6
		Oto-04	41.5	11.2	27.4	18.4	27.7	30.0	59.5	12.3	27.9	36.3	36.1
		Inv-05	54.7	15.7	77.0	7.4	53.1	19.5	63.3	62.6	8.6	44.6	70.2
		Pri-05	55.0	22.8	83.3	73.2	35.6	43.2	117.4	43.2	37.1	72.1	65.8
		Media	51.0	22.0	70.4	38.5	45.5	39.4	113.2	42.5	33.6	56.5	63.9
	2	Ver-05	36.3	15.4	41.9	24.9	17.4	19.8	129.5	34.3	15.5	67.8	32.5
		Oto-05	27.5	9.3	37.1	15.1	16.5	18.6	73.8	23.9	21.2	32.7	22.4
		Inv-06	25.0	8.5	35.2	15.8	20.7	14.6	76.7	21.7	20.7	26.2	26.1
		Pri-06	21.0	11.4	31.5	14.0	19.7	10.9	53.7	27.4	8.3	27.0	16.8
		Media	27.5	11.1	36.4	17.5	18.6	16.0	83.4	26.8	16.4	38.4	24.5

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.



En el segundo año, en verano, la mayoría de las plantas mostraron los valores más bajos de Mg y en otoño los más altos. En China, las máximas concentraciones de Mg en el primer año de muestreo se registraron en la estación de otoño e invierno las más bajas. En el segundo año, fue en el otoño donde se detectaron los valores máximos y en el verano los mínimos. En Linares, en el primer año, las especies registraron más Mg en verano y en invierno fueron más bajas. En el segundo año, durante el otoño, la mayoría de las plantas tuvieron mayores concentraciones de Mg y menores en verano.

### **5.3.3 Potasio**

La concentración de K, en todas las plantas fue significativamente diferente entre años, estaciones y entre plantas dentro de años y estaciones y para las respectivas interacciones (Tabla 21). Durante el primer año, en Los Ramones, los máximos valores de K se registraron en invierno y los más bajos en otoño (Tabla 22). En el segundo año, durante el otoño se registraron los valores máximos y en verano los mínimos. En China, en el primer año de muestreo, las plantas tuvieron valores más altos en primavera y más bajos en otoño. En el segundo año, otoño fue más alto e invierno más bajo. En Linares, en el primer año, las concentraciones máximas se presentaron en su mayoría en invierno y las más bajas en otoño. En el segundo año, en otoño las plantas tuvieron valores más elevados y en verano más bajos.

Tabla 19

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de Mg en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	149	***	908	***	123	***
Estación (E)	60	***	424	***	28	***
Especie (EV)	2	ns	23	***	4	***
A*E	51	***	377	***	29	***
A*EV	0.8	ns	14	***	0.8	ns
E*EV	1	ns	16	***	1	ns
A*E*EV	1	ns	16	***	1	ns
Error	17533		3395		8790	

\*\*\*( $p < 0.001$ ); ns=no significativo

Tabla 20

Contenido estacional (g kg<sup>-1</sup> base seca) de Mg en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once  
arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	19.0	9.7	6.3	7.8	15.0	11.6	25.3	12.7	17.5	16.6	16.4
		Oto-04	72.3	37.4	64.1	26.2	29.6	52.6	39.3	47.1	55.4	40.4	25.1
		Inv-05	5.4	5.0	5.9	4.3	6.0	4.4	8.4	6.1	4.7	22.1	5.6
		Pri-05	4.7	4.5	2.4	2.8	6.2	4.7	11.2	3.6	3.0	6.0	6.7
		Media	25.4	14.1	19.7	10.3	14.2	18.3	21.1	17.4	20.1	21.3	13.4
	2	Ver-05	3.0	2.1	0.8	0.7	1.3	1.2	3.2	1.4	1.2	2.1	1.4
		Oto-05	5.4	3.9	2.0	1.4	4.5	1.7	7.6	2.5	4.4	6.7	3.7
		Inv-06	5.3	2.4	1.2	0.7	3.9	1.6	5.7	1.7	2.1	2.5	2.3
		Pri-06	4.8	2.2	1.5	1.1	2.7	1.6	5.4	2.0	1.6	3.0	2.3
		Media	4.6	2.6	1.4	1.0	3.1	1.5	5.5	1.9	2.3	3.6	2.4
China	1	Ver-04	15.6	15.5	7.9	8.2	15.2	14.9	30.9	12.9	10.6	12.5	22.5
		Oto-04	110.0	46.3	62.8	14.5	31.2	38.7	46.2	58.3	39.2	90.1	24.9
		Inv-05	5.6	3.0	3.4	3.1	5.9	2.9	10.0	6.3	3.7	3.8	7.7
		Pri-05	8.6	6.0	2.6	4.1	6.4	4.7	11.9	5.9	4.4	6.6	7.5
		Media	35.0	17.7	19.2	7.4	14.7	15.3	24.7	20.8	14.5	28.2	15.6
	2	Ver-05	3.2	2.4	0.8	0.8	2.2	1.6	4.8	2.0	1.2	2.8	1.9
		Oto-05	5.3	4.7	2.0	1.7	4.5	2.4	8.4	2.9	4.5	5.8	3.8
		Inv-06	5.3	2.3	2.0	1.0	4.8	1.9	5.5	2.8	2.7	3.2	2.9
		Pri-06	3.9	2.4	1.0	1.2	2.9	2.0	6.6	2.6	2.3	4.2	3.2
		Media	4.4	3.0	1.4	1.2	3.6	2.0	6.3	2.6	2.6	4.0	2.9
Linares	1	Ver-04	25.6	15.9	21.8	9.3	28.0	18.2	49.0	24.1	18.7	18.7	25.5
		Oto-04	16.9	25.9	9.7	14.7	12.4	10.2	16.6	14.1	9.1	35.0	26.9
		Inv-05	12.5	2.9	2.7	2.0	5.5	2.6	4.7	4.5	2.5	3.4	4.6
		Pri-05	9.4	4.1	2.1	3.0	5.9	4.3	9.8	3.6	4.0	5.4	4.6
		Media	16.1	12.2	9.1	7.2	13.0	8.8	20.0	11.6	8.6	15.6	15.4
	2	Ver-05	3.6	2.2	0.9	0.5	2.2	1.2	5.1	1.8	2.1	2.7	1.3
		Oto-05	6.4	2.2	2.1	1.0	3.4	2.6	7.0	2.1	4.1	5.2	4.1
		Inv-06	5.0	3.2	1.1	0.6	2.5	0.8	6.9	1.7	3.0	3.0	3.0
		Pri-06	4.7	2.7	1.8	1.7	2.8	1.7	7.0	1.9	1.8	2.9	2.2
		Media	4.9	2.6	1.5	1.0	2.7	1.6	6.5	1.8	2.7	3.5	2.6

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

Tabla 21

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de K en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	115	***	818	***	41	***
Estación (E)	60	***	182	***	8	***
Especie (EV)	9	***	15	***	7	***
A*E	115	***	392	***	19	***
A*EV	5	***	7	***	2	*
E*EV	7	***	5	***	3	***
A*E*EV	6	***	5	***	3	***
Error	60888		12122		116777	

\*( $P < 0.001$ ); \*\*( $P < 0.001$ ).

Tabla 22

Contenido estacional (g kg<sup>-1</sup> base seca) de K en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once

arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	29.5	16.4	21.7	12.4	6.3	17.0	20.2	12.9	26.2	20.8	5.8
		Oto-04	8.9	5.5	3.6	2.5	9.1	3.5	14.5	6.5	6.6	7.2	6.4
		Inv-05	70.6	60.7	42.0	34.2	70.5	63.4	72.4	61.4	87.7	305.0	45.5
		Pri-05	90.8	85.6	86.2	74.3	93.1	85.7	104.1	66.1	74.1	69.1	41.7
		Media	49.9	42.1	38.4	30.9	44.7	42.4	52.8	36.7	48.6	100.5	24.9
	2	Ver-05	28.5	10.1	1.4	1.1	7.8	9.1	8.0	2.0	7.9	18.8	10.2
		Oto-05	66.0	60.7	55.3	43.7	39.8	44.2	49.4	30.8	36.2	37.9	21.8
		Inv-06	16.3	12.8	14.0	9.7	9.9	26.2	18.8	17.0	20.2	22.6	13.6
		Pri-06	36.2	19.9	28.2	8.7	11.5	5.9	29.4	13.0	17.5	16.4	6.1
		Media	36.7	25.9	24.7	15.8	17.3	21.3	26.4	15.7	20.4	23.9	12.9
China	1	Ver-04	36.5	33.5	30.7	21.5	16.7	22.6	31.0	25.0	18.5	20.9	17.7
		Oto-04	14.5	8.3	7.3	5.1	9.3	5.9	20.0	7.7	11.8	9.7	14.4
		Inv-05	74.4	66.3	96.4	82.7	71.2	94.1	68.8	90.0	91.0	43.4	19.4
		Pri-05	109.9	68.0	88.0	52.2	66.3	74.4	69.7	85.2	96.9	83.9	63.6
		Media	58.8	44.0	55.6	40.4	40.9	49.2	47.4	52.0	54.5	39.5	28.8
	2	Ver-05	24.4	26.8	24.9	11.2	19.1	14.7	17.3	8.9	17.7	26.9	7.5
		Oto-05	43.8	44.7	42.5	16.5	19.2	16.5	26.9	22.9	16.7	28.1	18.1
		Inv-06	22.1	13.3	11.8	0.2	0.5	13.7	10.0	7.9	8.4	11.9	5.1
		Pri-06	19.7	27.0	10.6	6.5	6.4	8.0	14.5	5.0	17.7	28.1	14.3
		Media	27.5	27.9	22.4	8.6	11.3	13.2	17.2	11.2	15.1	23.8	11.2
Linares	1	Ver-04	49.9	25.4	52.7	24.4	43.8	35.3	31.2	18.8	44.6	34.9	17.3
		Oto-04	8.8	6.6	4.7	3.8	10.3	8.1	14.3	5.6	6.0	9.4	7.7
		Inv-05	270.5	37.7	35.0	32.4	0.2	66.3	51.5	39.5	32.3	80.5	61.5
		Pri-05	60.8	30.4	60.6	27.3	41.8	26.6	39.7	28.5	34.7	47.5	19.8
		Media	97.5	25.0	38.3	22.0	26.2	34.1	34.2	23.1	29.4	43.1	26.6
	2	Ver-05	29.3	13.5	21.4	5.0	8.8	5.5	11.0	9.7	13.3	19.8	6.6
		Oto-05	43.3	19.9	23.6	11.2	13.1	12.2	22.6	12.0	26.0	39.4	12.8
		Inv-06	17.5	4.2	10.7	4.1	6.7	11.8	12.1	10.9	9.7	16.9	5.4
		Pri-06	26.6	18.6	28.9	16.1	9.3	18.0	18.0	16.5	9.3	22.7	11.0
		Media	29.2	14.0	21.1	9.1	9.5	11.9	15.9	12.3	14.6	24.7	9.0

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

### 5.3.4 Fósforo

La concentración de P presentó diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) en los diferentes factores evaluados: año de muestreo, estación, especies vegetales y para las diferentes interacciones entre dichos factores; excepto la interacción año\*especie vegetal en Los Ramones (Tabla 23). En general las concentraciones de P son muy bajas en todas las especies, estaciones y sitios de muestreo, en donde los valores mínimos fluctúan de 0.1 a 3.1 mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 24). En Los Ramones, durante el primer año de muestreo, los valores más altos se presentaron en primavera de 2005, mientras que los valores más bajos fueron en verano. En el segundo año, en primavera se observaron las máximas concentraciones y las mínimas se registraron en invierno. En China, en el primer año se registraron las máximas concentraciones en primavera y las mínimas en invierno. En el segundo año, todos los valores máximos se presentan en primavera y los mínimos se registraron en primavera. En Linares las concentraciones máximas se detectaron en primavera y las mínimas en verano. En el segundo año, en primavera se presentan las concentraciones más elevadas y las más bajas en invierno.

### 5.3.5 Nitrógeno

El N en todas las plantas fue significativamente diferente entre años, estaciones, sitios y las respectivas interacciones (Tabla 25). El N en todas las plantas estuvo en un rango de 0.2 a 4 % (Tabla 26). En Los Ramones, en el primer año, el contenido máximo fue en primavera y en otoño los más bajos. En el segundo año los contenidos máximos de N en primavera y los mínimos en otoño. En China, los mayores porcentajes se presentaron en primavera y los mínimos en invierno. En el año dos, los contenidos máximos se presentaron en primavera y los mínimos en invierno. En Linares, en el primer año de muestreo, al igual que en los dos sitios anteriores, los contenidos más altos de todo el año se presentaron en primavera y los más bajos en invierno.

Tabla 23

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de P en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	380	***	1005	***	1087	***
Estación (E)	498	***	1682	***	423	***
Especie (EV)	18	***	141	***	45	***
A*E	257	***	400	***	347	***
A*EV	2	ns	5	***	19	***
E*EV	7	***	49	***	19	***
A*E*EV	4	***	16	***	13	***
Error	4		2		2	

\*\*\*( $P < 0.001$ ); ns = no significativo

Tabla 24

Contenido estacional (g kg<sup>-1</sup> base seca) de P en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once

arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.1	0.3
		Oto-04	1.0	0.8	0.7	0.8	0.7	1.0	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
		Inv-05	1.7	1.4	0.9	1.5	1.0	1.8	1.8	1.3	1.8	1.6	1.1
		Pri-05	2.0	1.4	1.7	1.5	1.3	1.6	1.7	1.6	1.4	1.8	1.3
		Media	1.3	1.0	1.0	1.1	0.9	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	0.8
	2	Ver-05	1.0	0.5	0.8	0.8	0.5	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.5
		Oto-05	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.3
		Inv-06	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	1.1	0.2	0.1	0.2	0.5	0.2
		Pri-06	1.5	1.0	1.3	1.6	0.8	1.0	1.5	1.7	1.2	1.3	1.0
		Media	0.9	0.5	0.7	0.8	0.5	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.5
China	1	Ver-04	0.4	0.6	0.5	0.4	0.5	0.8	0.9	0.7	0.7	0.8	0.9
		Oto-04	1.3	0.8	0.7	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.5
		Inv-05	1.8	1.5	1.2	1.2	1.0	2.2	1.1	1.0	1.4	1.2	0.4
		Pri-05	2.8	1.9	2.1	1.8	1.2	2.0	2.0	3.1	1.3	2.3	1.1
		Media	1.6	1.2	1.1	1.0	0.8	1.4	1.2	1.4	1.0	1.3	0.7
	2	Ver-05	1.1	0.7	0.8	0.9	0.6	0.8	0.9	1.0	0.6	0.8	0.5
		Oto-05	1.1	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.9	0.5	0.6	0.4
		Inv-06	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2	1.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.2
		Pri-06	1.7	1.4	1.5	1.4	0.8	1.2	1.5	1.9	1.1	1.7	0.9
		Media	1.1	0.7	0.8	0.8	0.5	1.0	0.8	1.0	0.6	0.9	0.5
Linares	1	Ver-04	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	0.9	0.6	0.6	0.6
		Oto-04	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	1.1	1.1
		Inv-05	0.8	0.3	1.1	1.9	0.8	1.9	1.6	0.7	1.4	1.1	0.6
		Pri-05	1.6	1.1	1.4	1.2	1.1	1.8	1.2	1.2	1.0	1.5	1.0
		Media	1.1	0.8	1.1	1.3	0.9	1.4	1.1	0.9	1.0	1.1	0.8
	2	Ver-05	1.1	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.9	1.0	0.6	1.1	0.6
		Oto-05	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5
		Inv-06	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1
		Pri-06	1.5	1.1	0.9	1.1	0.8	1.4	1.3	1.0	1.0	1.3	0.8
		Media	0.9	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.8	0.5

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.



Tabla 25

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de N en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	5059	***	14332	***	37071	***
Estación (E)	1031	***	1448	***	5398	***
Especie (EV)	98	***	222	***	526	***
A*E	336	***	1639	***	2606	***
A*EV	29	***	38	***	168	***
E*EV	14	***	36	***	99	***
A*E*EV	12	***	35	***	51	***
Error	3		1		0.5	
***( $P < 0.001$ )						

Tabla 26

Contenido estacional de N (% base seca) en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once

arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	0.4	0.3	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	0.6	0.5	0.6	0.4
		Oto-04	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3
		Inv-05	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.4	0.4
		Pri-05	2.5	2.2	2.3	2.2	1.8	2.5	2.8	2.3	1.6	2.3	1.6
		Media	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	1.1	1.2	0.9	0.8	1.0	0.7
	2	Ver-05	2.5	1.6	2.3	2.4	1.6	2.9	3.0	2.2	1.5	2.0	1.8
		Oto-05	1.3	1.4	2.1	2.1	2.2	2.5	2.0	2.0	1.6	2.0	1.6
		Inv-06	1.8	1.5	1.7	2.2	1.8	4.0	2.0	1.7	1.3	2.5	1.6
		Pri-06	2.6	1.9	2.7	2.0	2.3	3.0	3.3	3.1	2.0	2.7	1.8
		Media	2.1	1.6	2.2	2.2	2.0	3.1	2.6	2.2	1.6	2.3	1.7
China	1	Ver-04	0.7	0.3	0.7	0.5	0.5	1.0	1.0	0.8	0.4	0.5	0.3
		Oto-04	0.9	0.6	0.8	0.6	0.7	0.8	1.0	0.8	0.4	0.6	0.5
		Inv-05	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
		Pri-05	2.5	1.5	2.2	1.8	1.9	2.6	2.6	2.1	1.4	2.1	1.5
		Media	1.1	0.7	1.0	0.8	0.8	1.2	1.2	1.0	0.6	0.9	0.6
	2	Ver-05	2.2	1.7	2.3	1.9	2.3	2.8	3.0	2.4	2.1	2.4	1.7
		Oto-05	2.4	1.8	2.2	2.2	2.5	2.7	2.5	2.7	2.0	2.0	1.7
		Inv-06	2.1	1.7	2.1	1.9	1.8	2.7	2.0	1.7	1.5	1.9	1.7
		Pri-06	2.5	1.8	2.5	2.1	2.3	3.1	0.7	1.9	1.6	2.2	1.5
		Media	2.3	1.7	2.3	2.0	2.2	2.8	2.1	2.2	1.8	2.1	1.7
Linares	1	Ver-04	0.3	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.4	0.3
		Oto-04	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4
		Inv-05	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
		Pri-05	2.6	1.7	2.4	1.8	1.7	2.6	2.9	2.1	1.4	2.1	1.5
		Media	1.0	0.6	0.9	0.7	0.6	0.9	1.0	0.8	0.7	0.8	0.6
	2	Ver-05	2.0	1.8	2.2	2.5	1.9	2.7	3.2	2.4	2.3	1.6	1.7
		Oto-05	2.2	1.7	2.2	2.0	2.0	2.3	2.6	2.7	1.7	1.8	1.7
		Inv-06	1.9	1.5	1.8	1.9	1.9	3.2	2.4	1.6	1.4	1.8	1.6
		Pri-06	2.6	2.0	2.4	2.1	1.9	2.8	3.0	3.5	1.7	2.4	1.5
		Media	2.2	1.7	2.1	2.1	1.9	2.8	2.8	2.5	1.8	1.9	1.7

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

### 5.3.6 Cobre

El Cu, en todas las plantas fue significativamente diferente entre los años, estaciones y entre especies dentro de años y estaciones, excepto en Los Ramones las interacciones año\*especie vegetal, estación\*especie vegetal y año\*estación\*especie vegetal (Tabla 27). En China y Linares también fueron diferentes significativamente excepto la interacción año\*especie vegetal en China (Tabla 27). En Los Ramones, en el primer año de muestreo, los contenidos de Cu fueron más elevados en verano, mientras que en otoño fueron más bajos (Tabla 28). En el segundo año, los valores más altos se presentaron en invierno y los más bajos se determinaron en verano. En China, durante el primer año, las especies vegetales registran los contenidos más altos en primavera y los más bajos en invierno. En el segundo año, los contenidos más elevados fueron en invierno y los valores mínimos en verano. En Linares, los contenidos más altos se encontraron en el verano y los contenidos disminuyeron en invierno. En el segundo año, fue en otoño en donde se detectaron los contenidos más elevados y los más bajos se observan en la estación de verano.

Tabla 27

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de Cu en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	72	***	275	***	220	***
Estación (E)	9	***	77	***	60	***
Especie (EV)	2	**	9	***	13	***
A*E	24	***	75	***	148	***
A*EV	1	ns	1	ns	8	***
E*EV	1	ns	2	***	5	***
A*E*EV	1	ns	2	***	6	***
Error	0.01		0.001		0.006	

\*\*( $P < 0.01$ ); \*\*\*( $P < 0.001$ ); ns = no significativo

Tabla 28

Contenido estacional (mg kg<sup>-1</sup> base seca) de Cu en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once

arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	14.4	11.9	9.7	16.0	13.1	23.6	9.8	19.1	12.1	22.7	42.1
		Oto-04	5.9	5.6	3.9	3.9	6.4	8.1	3.5	8.3	4.5	8.5	3.0
		Inv-05	9.9	6.0	5.4	3.6	5.4	5.6	5.7	6.0	6.9	25.3	5.0
		Pri-05	16.8	23.2	11.8	25.6	17.6	17.7	13.3	13.6	12.9	22.3	12.6
		Media	11.7	11.7	7.7	12.3	10.6	13.8	8.1	11.7	9.1	19.7	15.7
	2	Ver-05	1.5	1.8	0.7	0.6	1.1	0.9	0.9	1.4	0.9	1.4	0.7
		Oto-05	7.8	7.6	4.6	3.8	6.6	5.3	6.2	7.4	5.9	8.6	6.0
		Inv-06	7.1	7.2	3.4	4.8	3.3	17.0	3.8	8.5	5.7	7.5	3.8
		Pri-06	8.5	8.6	4.3	4.4	3.9	3.2	7.0	9.3	4.7	6.8	6.4
		Media	6.2	6.3	3.3	3.4	3.7	6.6	4.5	6.7	4.3	6.1	4.2
China	1	Ver-04	10.5	13.8	7.1	9.7	12.5	9.9	8.2	6.3	3.9	8.8	11.4
		Oto-04	6.5	5.9	4.2	4.7	4.5	10.9	4.7	8.1	4.8	7.4	4.6
		Inv-05	10.2	4.9	4.9	4.5	3.9	4.9	3.1	7.3	6.0	5.5	6.9
		Pri-05	15.1	15.7	11.1	15.9	12.8	18.0	10.8	22.5	12.0	21.5	11.7
		Media	10.6	10.1	6.8	8.7	8.4	10.9	6.7	11.0	6.7	10.8	8.7
	2	Ver-05	1.2	1.5	0.7	0.8	0.6	1.0	1.1	1.5	0.9	1.7	0.5
		Oto-05	5.8	8.0	4.5	3.7	3.7	3.8	3.7	6.9	3.5	8.2	3.5
		Inv-06	6.1	6.7	4.6	2.9	3.3	9.3	4.2	7.4	4.4	8.4	5.0
		Pri-06	5.9	7.4	3.7	5.5	3.3	7.2	4.7	5.5	5.2	8.8	4.7
		Media	4.7	5.9	3.4	3.2	2.7	5.3	3.4	5.3	3.5	6.8	3.4
Linares	1	Ver-04	21.4	50.2	22.8	28.8	47.5	104.2	27.8	42.5	22.9	36.0	24.1
		Oto-04	6.3	8.5	6.9	7.1	10.0	12.7	5.0	16.6	4.3	11.0	7.9
		Inv-05	19.4	7.2	4.5	5.2	7.9	5.5	5.9	11.0	5.4	8.6	4.1
		Pri-05	10.2	12.5	7.5	11.3	12.5	26.1	9.0	21.2	8.6	16.5	13.0
		Media	14.3	19.6	10.4	13.1	19.5	37.1	11.9	22.8	10.3	18.0	12.3
	2	Ver-05	1.8	1.8	0.8	1.1	1.8	2.5	1.4	2.8	1.0	1.9	1.8
		Oto-05	9.9	12.6	6.4	5.6	10.1	10.6	6.6	9.2	5.2	12.0	8.1
		Inv-06	7.6	7.9	5.2	7.1	11.9	8.6	4.1	17.4	5.8	11.2	6.9
		Pri-06	6.9	7.2	5.1	5.3	8.5	5.5	4.2	6.6	4.0	11.1	4.1
		Media	6.5	7.4	4.4	4.8	8.1	6.8	4.1	9.0	4.0	9.0	5.2

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

### **5.3.7 Manganeso**

Los contenidos de Mn presentaron diferencias significativas entre años, estaciones, sitios y las interacciones respectivas (Tabla 29). En Los Ramones, en el primer año, el contenido máximo de Mn fue en la estación de primavera y el más bajo en otoño. En el segundo año, otoño fue más elevado y verano más bajo (Tabla 30). En China, en el primer año, en verano las plantas fueron más elevadas en Mn y en invierno más bajas. En el segundo año, en otoño las plantas mostraron mayor Mn y en invierno menor. En Linares, en el primer año, las especies adquirieron contenidos máximos de Mn en verano en cambio, las mínimas fueron observadas en invierno. En el segundo año, los máximos contenidos se ubicaron en otoño y los mínimos en verano.

### **5.3.8 Fierro**

El Fe, en todas las plantas fue significativamente diferente entre años, estaciones, sitios y las respectivas interacciones (Tabla 31). En Los Ramones, durante el primer año de muestreo, las plantas presentaron más Fe en primavera y fueron más bajas en otoño. En el segundo año, invierno fue más elevado y otoño más bajo (Tabla 32). En China, en el primer año, se observaron los valores máximos en primavera y en invierno los más bajos. Posteriormente, en el segundo año, en el invierno fue más alto y verano más bajo. En Linares, en el primer año, nueve especies presentan los valores máximos en verano y en invierno fueron más bajas. En el segundo año, otoño fue más elevado y verano más bajo en su contenido de Fe.

Tabla 29

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de Mn en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	390	***	685	***	297	***
Estación (E)	25	***	75	***	107	***
Especie (EV)	37	***	70	***	76	***
A*E	149	***	363	***	364	***
A*EV	5	***	10	***	9	***
E*EV	5	***	16	***	10	***
A*E*EV	6	***	11	***	17	***
Error	0.01		0.003		0.05	

\*\*\*( $P < 0.001$ ).

Tabla 30

Contenido estacional (mg kg<sup>-1</sup> base seca) de Mn en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once  
arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	49.3	38.5	31.4	49.2	41.4	85.2	72.7	112.3	64.6	46.3	59.3
		Oto-04	33.6	19.9	13.5	24.0	25.3	30.0	37.6	49.5	25.5	23.4	18.6
		Inv-05	43.3	23.7	24.5	21.6	25.8	17.4	27.5	60.9	18.9	91.0	31.7
		Pri-05	66.7	45.4	43.2	66.8	56.1	35.9	77.2	105.8	50.3	63.4	66.4
		Media	48.2	31.9	28.2	40.4	37.1	42.1	53.8	82.1	39.8	56.0	44.0
	2	Ver-05	12.5	6.8	5.8	6.9	5.0	4.7	8.1	16.3	10.2	6.3	5.4
		Oto-05	28.8	26.5	19.6	41.7	29.5	17.1	45.6	33.8	45.8	33.2	30.0
		Inv-06	20.2	43.3	16.7	32.8	15.9	20.2	25.1	88.9	32.0	26.2	33.4
		Pri-06	31.6	19.3	13.5	15.1	15.3	17.1	36.6	41.3	23.8	28.8	21.4
		Media	23.3	24.0	13.9	24.1	16.4	14.8	28.8	45.1	27.9	23.6	22.5
China	1	Ver-04	43.7	50.6	29.0	31.7	16.7	73.8	66.3	46.1	47.5	29.0	53.6
		Oto-04	35.0	20.6	11.7	15.2	9.8	17.4	23.6	29.1	53.2	14.7	31.8
		Inv-05	17.0	13.7	20.0	21.8	6.9	15.0	12.2	26.6	20.1	14.5	19.3
		Pri-05	70.4	44.0	27.9	36.2	23.8	22.7	34.4	65.9	54.2	38.9	34.7
		Media	41.5	32.2	22.1	26.2	14.3	32.2	34.1	42.0	43.7	24.3	34.9
	2	Ver-05	5.7	8.2	3.7	6.0	2.0	6.9	6.9	7.0	7.1	5.5	6.1
		Oto-05	38.5	24.4	18.4	23.0	12.0	12.7	25.2	51.4	49.4	26.0	14.4
		Inv-06	22.7	20.8	11.1	19.1	12.2	21.6	15.3	36.3	32.9	15.1	8.9
		Pri-06	22.3	15.2	14.6	23.3	8.6	12.7	20.7	27.4	15.7	21.5	15.7
		Media	22.3	17.1	11.9	17.8	8.7	13.5	17.0	30.5	26.3	17.0	11.2
Linares	1	Ver-04	189.9	66.3	89.4	87.7	159.0	301.3	134.6	109.3	353.5	86.9	195.2
		Oto-04	56.0	15.5	29.1	18.8	42.2	52.7	22.1	28.3	72.5	37.8	31.5
		Inv-05	119.7	14.6	17.1	9.2	29.4	18.8	20.2	24.1	23.8	20.4	46.2
		Pri-05	143.9	35.6	27.1	67.5	69.3	53.7	56.7	60.1	80.3	56.4	76.9
		Media	127.4	33.0	40.7	45.8	75.0	106.6	58.4	55.4	132.5	50.4	87.4
	2	Ver-05	22.8	6.4	5.0	8.0	6.8	7.5	10.6	5.8	23.0	8.9	12.8
		Oto-05	227.2	24.1	28.4	30.3	40.8	53.1	45.4	23.8	83.6	51.6	61.8
		Inv-06	106.2	15.3	11.3	24.2	18.3	22.2	29.0	18.3	114.6	27.2	46.6
		Pri-06	95.0	33.8	25.0	25.8	49.9	25.9	35.0	42.6	49.7	33.4	40.1
		Media	112.8	19.9	17.4	22.1	28.9	27.2	30.0	22.6	67.7	30.3	40.3

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.



Tabla 31

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de Fe en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	60	***	16	***	18	***
Estación (E)	77	***	15	***	7	***
Especie (EV)	164	***	28	***	9	***
A*E	182	***	23	***	38	***
A*EV	5	***	5	***	2	**
E*EV	15	***	4	***	2	**
A*E*EV	11	***	5	***	2	***
Error	0.2		0.5		1	

\*\*( $P < 0.01$ ); \*\*\*( $P < 0.001$ ).

Tabla 32

Contenido estacional (mg kg<sup>-1</sup> base seca) de Fe en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once  
arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	179.8	407.3	101.0	141.0	134.3	131.7	130.1	182.7	81.6	161.9	123.3
		Oto-04	129.6	190.8	91.3	125.2	82.7	106.3	104.8	104.4	51.3	103.2	78.8
		Inv-05	65.6	314.0	61.3	79.6	82.5	36.1	83.4	85.5	55.0	465.4	104.6
		Pri-05	233.8	475.4	128.2	180.3	139.7	117.5	156.2	167.6	120.1	381.6	193.3
		Media	152.2	346.9	95.5	131.5	109.8	97.9	118.6	135.1	77.0	278.0	125.0
	2	Ver-05	88.5	112.2	29.0	25.3	22.6	24.7	24.3	29.4	15.5	53.5	24.7
		Oto-05	176.9	305.2	100.4	89.5	126.2	79.4	111.0	73.7	53.9	170.1	87.6
		Inv-06	321.8	728.8	187.5	131.6	145.1	74.1	148.1	124.9	111.8	364.4	153.2
		Pri-06	107.6	231.6	39.8	83.8	59.1	63.2	64.4	48.1	44.6	195.8	67.1
		Media	173.7	344.4	89.2	82.6	88.2	60.3	86.9	69.0	56.4	195.9	83.1
China	1	Ver-04	187.2	209.7	131.3	126.7	99.5	148.4	103.8	142.9	102.8	109.3	171.0
		Oto-04	201.6	223.4	87.5	95.9	71.1	82.2	102.5	84.0	120.8	108.0	130.3
		Inv-05	82.4	136.4	134.6	86.3	48.8	62.0	69.2	87.0	147.4	128.6	88.5
		Pri-05	294.5	322.8	147.4	190.8	116.3	153.4	476.4	145.0	131.0	284.3	153.3
		Media	191.4	223.1	125.2	124.9	83.9	111.5	188.0	114.7	125.5	157.5	135.8
	2	Ver-05	115.8	449.6	14.8	37.6	11.1	37.3	18.8	42.8	15.0	220.0	24.6
		Oto-05	331.6	191.3	82.8	99.0	54.4	103.2	86.4	78.1	64.3	207.6	105.6
		Inv-06	165.0	351.5	104.2	109.1	93.3	90.5	209.2	95.6	85.6	104.2	91.7
		Pri-06	96.2	195.0	41.6	370.0	56.5	51.4	55.1	40.3	39.0	241.1	99.6
		Media	177.1	296.9	60.9	153.9	53.8	70.6	92.4	64.2	51.0	193.2	80.4
Linares	1	Ver-04	200.5	214.5	258.2	167.1	199.6	371.1	187.3	190.0	404.6	353.5	408.0
		Oto-04	70.2	68.9	73.5	56.7	68.5	100.3	65.6	70.1	153.1	512.6	101.6
		Inv-05	156.2	73.4	84.0	25.1	62.2	53.7	47.5	63.5	48.3	107.6	71.4
		Pri-05	126.2	271.9	100.9	147.0	109.4	217.2	137.7	117.1	77.3	344.8	110.5
		Media	138.3	157.2	129.2	99.0	109.9	185.6	109.5	110.2	170.8	329.6	172.9
	2	Ver-05	21.9	99.4	36.8	35.4	15.2	26.0	18.3	31.6	12.9	185.8	36.9
		Oto-05	105.6	174.2	155.5	83.6	59.0	431.1	78.5	100.3	83.2	172.6	119.1
		Inv-06	144.5	210.1	134.4	106.2	81.9	182.8	85.6	102.5	95.5	116.9	84.7
		Pri-06	164.1	244.3	83.4	108.1	104.8	164.2	134.0	182.8	79.0	185.1	91.8
		Media	109.0	182.0	102.5	83.3	65.2	201.0	79.1	104.3	67.7	165.1	83.1

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

### **5.3.9 Zinc**

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza, todos los factores evaluados, así como en las diferentes interacciones entre dichos factores, se observaron diferencias significativas (Tabla 33). En Los Ramones, durante el primer año, las plantas en primavera mostraron las más altas concentraciones de Zn, pero en otoño fueron más bajas. En el segundo año, fueron más elevadas en invierno y más bajas en verano. En China, en el primer año, el comportamiento fue similar al de Los Ramones. En el segundo año, en primavera fue más elevado y verano más bajo. En Linares, en el primer periodo de estudio, las estaciones con los promedios máximos fueron primavera y los más bajos en otoño. En el segundo año, se registraron los contenidos máximos en primavera y los más bajos en verano (Tabla 34).

### **5.3.10 Cenizas**

Con excepción China, todas especies de plantas fueron significativamente diferentes entre años, estaciones, sitios y respectivas interacciones (Tabla 35). En Los Ramones, en el primer año, en otoño, fue más alto y el más bajo en verano. En el segundo año, invierno fue más elevado y otoño más bajo. En China, en el primer año otoño fue más elevado e invierno más bajo. Durante el segundo año, las plantas mostraron más cenizas en invierno y fueron más bajas en verano. En Linares, en el primer año de muestreo, tuvieron más cenizas en otoño y en verano fueron más bajas. En el segundo año, se observó más cenizas en primavera y fueron bajas en verano (Tabla 36).

Tabla 33

Valores de F y nivel de significancia (Valor *P*) del contenido de Zn en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	1516	***	1464	***	390	***
Estación (E)	1051	***	1196	***	100	***
Especie (EV)	76	***	36	***	27	***
A*E	980	***	992	***	127	***
A*EV	23	***	6	***	7	***
E*EV	21	***	5	***	8	***
A*E*EV	26	***	4	***	8	***
Error	0.01		0.01		0.04	

\*\*\*( $p < 0.001$ ).

Tabla 34

Contenido estacional (mg kg<sup>-1</sup> base seca) de Zn en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once  
arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	37.6	38.3	23.5	41.4	26.2	129.9	39.3	29.4	81.2	44.8	39.3
		Oto-04	30.5	18.8	20.9	15.6	13.7	34.5	13.6	20.2	39.5	22.7	11.2
		Inv-05	17.9	12.7	5.6	9.9	6.7	28.4	16.5	7.8	27.5	48.8	8.5
		Pri-05	110.6	246.1	275.6	155.5	109.9	231.9	110.2	97.3	220.1	115.9	163.1
		Media	49.2	79.0	81.4	55.6	39.1	106.2	44.9	38.6	92.1	58.0	55.5
	2	Ver-05	11.1	9.2	4.1	4.6	4.9	11.1	5.8	6.3	15.9	11.9	6.3
		Oto-05	27.6	22.3	12.4	11.0	12.3	26.6	18.6	12.6	52.0	30.1	16.6
		Inv-06	19.1	19.8	8.3	16.4	4.5	46.9	12.0	12.9	109.5	30.6	13.7
		Pri-06	35.8	30.7	17.1	19.6	11.2	33.9	23.2	23.9	37.8	20.6	17.0
		Media	23.4	20.5	10.5	12.9	8.2	29.6	14.9	13.9	53.8	23.3	13.4
China	1	Ver-04	39.7	42.3	38.3	34.5	31.0	98.9	25.8	26.3	48.0	32.6	47.9
		Oto-04	22.5	14.7	9.9	12.7	10.3	27.8	12.6	13.6	42.4	15.5	12.5
		Inv-05	15.0	7.9	7.7	12.9	5.0	32.3	4.2	5.5	25.5	11.7	9.7
		Pri-05	150.2	137.2	135.1	172.2	146.8	202.6	121.4	208.4	169.6	159.0	143.5
		Media	56.8	50.5	47.7	58.1	48.3	90.4	41.0	63.5	71.4	54.7	53.4
	2	Ver-05	8.9	14.3	4.6	5.8	6.0	15.9	7.0	6.1	10.7	12.6	5.8
		Oto-05	20.8	24.3	13.6	12.8	12.5	26.4	16.1	15.8	30.9	25.4	16.7
		Inv-06	19.6	18.3	17.0	3.8	4.3	56.0	12.6	10.4	29.3	25.8	13.9
		Pri-06	26.4	33.1	17.9	14.1	11.4	55.4	17.3	22.8	24.9	26.6	17.6
		Media	18.9	22.5	13.3	9.1	8.6	38.4	13.2	13.8	23.9	22.6	13.5
Linares	1	Ver-04	82.1	83.7	62.6	57.5	86.1	247.1	52.3	56.3	107.0	74.1	84.3
		Oto-04	15.7	18.2	17.5	9.3	14.7	31.4	8.9	9.3	38.6	112.0	43.7
		Inv-05	69.8	13.0	7.2	10.3	5.0	27.7	14.8	6.6	20.7	16.0	12.4
		Pri-05	109.0	107.8	98.9	130.7	112.9	221.0	98.8	87.2	132.2	30.6	23.9
		Media	69.2	55.7	46.5	52.0	54.7	131.8	43.7	39.8	74.6	58.2	41.1
	2	Ver-05	11.1	13.1	4.5	4.0	8.7	27.0	7.3	7.4	12.2	12.9	8.2
		Oto-05	27.9	22.6	16.3	12.6	18.7	42.0	13.6	12.5	32.7	29.4	23.2
		Inv-06	15.7	22.5	11.6	16.4	12.0	21.8	9.1	11.7	96.5	25.2	16.4
		Pri-06	25.4	26.2	10.5	15.4	18.6	60.6	12.8	11.5	32.8	33.3	16.7
		Media	20.0	21.1	10.7	12.1	14.5	37.8	10.7	10.8	43.5	25.2	16.1

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

Tabla 35

Valores de F y nivel de significancia (*P*) del contenido de cenizas en once especies forrajeras en el noreste de México en el periodo comprendido entre verano 2004 y primavera 2006

Fuentes de Variación	Sitio					
	Los Ramones		China		Linares	
	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>	Valor F	Valor <i>P</i>
Año (A)	8	**	1	ns	58	***
Estación (E)	14.	***	0.7	ns	24	***
Especie (EV)	12	***	0.9	ns	36	***
A*E	58	***	2	ns	13	***
A*EV	2	*	1	ns	1	ns
E*EV	3	***	1	ns	3	***
A*E*EV	4	***	1	ns	4	***
Error	1607		22244		1076	

\* (p<0.05); \*\* (p<0.01); \*\*\* (p<0.001); ns=no significativo

Tabla 36

Contenido estacional de Cenizas (% base seca) en los sitios de Los Ramones, China y Linares en once

arbustos y árboles nativos

Sitio	Año	Estación	Especie										
			<i>Cro cor</i>	<i>Leu fru</i>	<i>Kar hum</i>	<i>Aca rig</i>	<i>Bum cel</i>	<i>Pro lae</i>	<i>Cel pal</i>	<i>Zan fag</i>	<i>For ang</i>	<i>Lan mac</i>	<i>Cas tex</i>
Los Ramones	1	Ver-04	5.0	2.1	5.8	3.8	4.2	5.2	9.6	5.7	10.8	7.9	5.8
		Oto-04	7.0	4.4	14.6	8.1	6.5	7.4	15.5	8.0	5.4	15.7	13.3
		Inv-05	3.2	3.7	5.9	11.3	9.0	3.3	6.7	6.9	2.5	6.0	11.2
		Pri-05	5.8	4.0	9.7	5.7	5.3	4.6	14.6	5.8	7.0	10.5	10.4
		Media	5.2	3.6	9.0	7.2	6.2	5.1	11.6	6.6	6.4	10.0	10.2
	2	Ver-05	21.3	10.8	16.4	11.9	10.7	9.2	14.4	11.5	12.8	10.7	20.7
		Oto-05	5.3	4.6	3.9	6.7	1.1	4.8	8.0	7.4	0.6	5.8	3.1
		Inv-06	5.7	12.0	15.5	9.7	5.2	2.1	16.7	13.9	4.6	20.9	4.1
		Pri-06	6.4	4.7	3.6	2.5	7.7	3.5	6.7	2.9	4.0	7.6	11.1
		Media	9.7	8.0	9.8	7.7	6.2	4.9	11.5	8.9	5.5	11.3	9.7
China	1	Ver-04	6.2	3.8	7.7	3.2	5.3	30.3	11.0	7.7	4.2	6.4	9.2
		Oto-04	12.5	6.1	9.6	7.2	4.1	6.0	20.0	10.3	8.2	12.0	10.6
		Inv-05	3.7	3.9	10.8	11.9	6.1	2.7	6.1	9.9	2.6	6.8	10.8
		Pri-05	7.3	5.2	7.2	5.4	8.3	5.6	11.0	12.3	5.4	16.2	7.3
		Media	7.4	4.7	8.8	6.9	6.0	11.2	12.0	10.0	5.1	10.3	9.5
	2	Ver-05	7.0	4.1	7.6	8.3	6.9	4.7	14.5	7.2	5.2	7.7	8.6
		Oto-05	9.5	4.9	13.5	11.4	5.8	7.3	18.3	7.6	6.5	11.6	9.9
		Inv-06	10.8	63.4	10.0	8.1	5.2	2.8	16.4	10.4	5.6	14.6	10.8
		Pri-06	5.0	3.8	3.5	7.3	5.2	8.6	10.2	9.9	13.5	8.1	12.9
		Media	8.1	19.1	8.7	8.8	5.8	5.8	14.8	8.7	7.7	10.5	10.6
Linares	1	Ver-04	3.6	1.2	4.5	7.9	5.7	7.3	14.5	4.5	4.6	4.1	8.5
		Oto-04	8.9	4.4	9.0	6.2	8.3	9.1	20.3	7.9	5.9	17.7	8.6
		Inv-05	2.8	2.1	7.6	1.7	5.3	2.1	3.9	7.9	2.2	4.3	10.7
		Pri-05	5.2	3.0	8.6	10.3	5.4	6.4	13.5	10.5	4.7	6.7	8.8
		Media	5.1	2.7	7.4	6.5	6.2	6.2	13.0	7.7	4.4	8.2	9.2
	2	Ver-05	5.9	1.6	8.9	6.2	12.3	9.6	13.7	5.6	3.5	4.6	5.6
		Oto-05	6.4	3.0	8.6	10.8	6.0	6.2	22.1	9.4	8.8	10.0	16.4
		Inv-06	9.9	5.4	11.6	11.1	7.5	7.6	18.9	9.3	6.0	11.0	9.3
		Pri-06	8.1	7.1	16.3	8.0	8.1	6.4	16.3	11.3	8.9	18.5	7.5
		Media	7.6	4.3	11.4	9.0	8.4	7.4	17.8	8.9	6.8	11.0	9.7

*Croton cortesianus* (*Cro cor*), *Leucophyllum frutescens* (*Leu fru*), *Karwinskia humboldtiana* (*Kar hum*), *Acacia rigidula* (*Aca rig*), *Bumelia celastrina* (*Bum cel*), *Prosopis laevigata* (*Pro lae*), *Celtis pallida* (*Cel pal*), *Zanthoxylum fagara* (*Zan fag*), *Forestiera angustifolia* (*For ang*), *Lantana macropoda* (*Lan mac*) y *Castela texana* (*Cas tex*). Ver-04 = Verano 2004; Oto-04 = Otoño 2004; Inv-05 = Invierno 2005; Pri-05 = Primavera 2005; Ver-05 = Verano 2005; Oto-05 = Otoño 2005; Inv-06 = Invierno 2006; Pri-06 = Primavera 2006.

## 5.4. Relaciones Hídricas

### 5.4.1 Potenciales hídricos de las especies vegetales en Los Ramones

Se mostraron diferencias significativas entre las especies vegetales muestreadas al pre-amanecer ( $\Psi_{pd}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ) para las dos condiciones hídricas (Tabla 37). Debido a que el  $\Psi_{md}$  bajo la condición de sequía fue muy negativo, solo se tomó una observación. Los valores máximos detectados en el  $\Psi_{pd}$  fueron observados en *P. laevigata* (-2.72 MPa) y *A. rigidula* (-2.78 MPa), mientras que los valores mas bajos fueron registrados en *K. humboldtiana* (-6.37 MPa) y *Z. fagara* (-6.82 MPa). Las especies vegetales remanentes mostraron valores intermedios entre los valores descritos (Tabla 38). Con respecto al  $\Psi_{md}$ , *P. laevigata*, *C. texana* y *B. celastrina*, registraron los valores mas altos (-4.0, -4.20 y -4.25 MPa, respectivamente), en cambio, valores de -7.0, -7.20 y -7.60 MPa fueron detectados en *K. humboldtiana*, *L. macropoda* y *Z. fagara*, respectivamente, (Tabla 38).

Los valores más altos detectados en el  $\Psi_{pd}$  corresponden a *K. humboldtiana* (-0.52 MPa), *L. macropoda* (-0.55 MPa), *F. angustifolia* (0.55 MPa) y *L. frutescens* (-0.65 MPa) y ellos fueron significativamente superior ( $P=0.05$ ) a los registrados por *B. celastrina* (-1.08 MPa) y *C. texana* (-1.63 MPa). Las especies vegetales remanentes mostraron valores intermedios (Tabla 38). Con relación al  $\Psi_{md}$ , *L. macropoda* y *F. angustifolia* registraron los valores mas altos (-1.43 y -1.52 MPa, respectivamente), y fueron significativamente superior ( $P=0.05$ ) a los observados en *P. laevigata* (-2.20 MPa) y *C. texana* (-2.28 MPa) (Tabla 38).



Tabla 37

Resultados del análisis de varianza para detectar diferencias significativas en el  $\Psi_{pd}$  y  $\Psi_{md}$  en diez especies vegetales del matorral espinoso tamaulipeco bajo condiciones de sequía (15.4 % CGHS) y de suficiente humedad (15.4 % CGHS) en el sitio de Los Ramones. ND; No determinado

Condición Hídrica	Potencial Hídrico ( $\Psi$ )	Valor F	Valor P
Sequía	$\Psi_{pd}$	56.918	<0.001
	$\Psi_{md}$	ND	ND
Suficiente Humedad	$\Psi_{pd}$	25.127	<0.001
	$\Psi_{md}$	5.087	<0.001

Tabla 38

Potenciales hídricos al pre-amanecer ( $\Psi_{pd}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ) en diez especies vegetales observados bajo condiciones de sequía (15.4 % CGHS) y de suficiente humedad (15.4 % CGHS) determinados 15 de julio y 5 de agosto de 2005, respectivamente, para el sitio de los Ramones, Nuevo León

Especie Vegetal	Condición Hídrica			
	Sequía		Suficiente Humedad	
	$\Psi_{pd}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	$\Psi_{pd}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)
<i>Castela texana</i>	-3.42 <sup>a,b</sup>	-4.20	-1.63 <sup>d</sup>	-2.28 <sup>b</sup>
<i>Bumelia celastrina</i>	-3.80 <sup>b,c</sup>	-4.25	-1.08 <sup>c</sup>	-1.70 <sup>a,b</sup>
<i>Prosopis laevigata</i>	-2.72 <sup>a</sup>	-4.00	-0.98 <sup>b,c</sup>	-2.20 <sup>b</sup>
<i>Zanthoxylum fagara</i>	-6.82 <sup>e</sup>	-7.60	-0.75 <sup>a,b,c</sup>	-2.01 <sup>a,b</sup>
<i>Acacia rigidula</i>	-2.78 <sup>a</sup>	-5.05	-0.72 <sup>a,b</sup>	-2.20 <sup>b</sup>
<i>Celtis pallida</i>	-4.33 <sup>b,c</sup>	-4.80	-0.70 <sup>a,b</sup>	-1.63 <sup>a,b</sup>
<i>Leucophyllum</i>	-5.57 <sup>d</sup>	-5.70	-0.65 <sup>a,b</sup>	-1.73 <sup>a,b</sup>
<i>Forestiera</i>	-4.52 <sup>c</sup>	-5.95	-0.55 <sup>a</sup>	-1.52 <sup>a</sup>
<i>Lantana macropoda</i>	-5.77 <sup>d</sup>	-7.20	-0.55 <sup>a</sup>	-1.43 <sup>a</sup>
<i>Karwinskia</i>	-6.37 <sup>d,e</sup>	-7.00	-0.52 <sup>a</sup>	-1.90 <sup>a,b</sup>

<sup>a,b,c,d,e</sup>Medias dentro de una columna con literales diferentes, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba de Tukey (P=0.05).

#### 5.4.2 Potenciales hídricos de las especies vegetales en Linares

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza (Tabla 39) existen diferencias significativas en el  $\Psi$  entre las especies vegetales muestreadas al pre-amanecer ( $\Psi_{pd}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ) para las dos condiciones hídricas. De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P=0.05$ ), los valores máximos detectados en el  $\Psi_{pd}$  fueron observados en *C. pallida* (-1.33 MPa) y *L. macropoda* (-1.83 MPa), mientras que los valores mas bajos fueron registrados en *B. celastrina* (-2.93 MPa) y *K. humboldtiana* (-3.72 MPa). Las especies vegetales remanentes mostraron valores intermedios entre los valores descritos (Tabla 40). Con respecto al  $\Psi_{md}$ , *C. pallida* y *K. humboldtiana*, registraron los valores mas altos (-2.0 MPa) y más bajo (-5.38 MPa), respectivamente, (Tabla 40).

Los valores más altos detectados en el  $\Psi_{pd}$  corresponden a las especies *L. macropoda* (-0.35 MPa), *K. humboldtiana* (-0.70 MPa) y *F. angustifolia* (0.65 MPa) y ellos fueron significativamente superior ( $P=0.05$ ) a los registrados por *P. laevigata* (-0.88 MPa), *B. celastrina* (-0.98 MPa) y *C. texana* (-1.22 MPa). Las especies vegetales remanentes mostraron valores intermedios a los enunciados a esta hora del muestreo (Tabla 40). Con relación al  $\Psi_{md}$ , *F. angustifolia* registró los valores mas altos (-0.98 MPa) y fue significativamente superior ( $P=0.05$ ) a los observados en *L. macropoda* (-2.13 MPa) (Tabla 40). El resto de las otras especies vegetales mostraron valores intermedios a los descritos.

Tabla 39

Resultados del análisis de varianza para detectar diferencias significativas en el  $\Psi_{pd}$  y  $\Psi_{md}$  en diez especies vegetales del matorral espinoso tamaulipeco bajo condiciones de sequía (15.4% CGHS) y suficiente humedad disponible (28.8% CGHS) en el sitio de Linares, Nuevo León.

Condición Hídrica	Potencial Hídrico ( $\Psi$ )	Valor F	Valor P
Sequía	$\Psi_{pd}$	9.233	<0.001
	$\Psi_{md}$	9.463	<0.001
Suficiente Humedad	$\Psi_{pd}$	11.456	<0.001
	$\Psi_{md}$	7.945	<0.001

Tabla 40

Potenciales hídricos al pre-amanecer ( $\Psi_{pd}$ ) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ) en diez especies vegetales observados bajo condiciones de sequía (15.4 % CGHS) y de suficiente humedad (28.8 % CGHS) determinados el 14 de julio y 4 de agosto de 2005, respectivamente, en el sitio de Linares, Nuevo León

Especie Arbustiva	Condición Hídrica			
	Sequía		Suficiente Humedad	
	$\Psi_{pd}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	$\Psi_{pd}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)
<i>Castela texana</i>	-2.40 <sup>a,b,c</sup>	-2.93 <sup>a,b</sup>	-1.22 <sup>c</sup>	-2.02 <sup>c,d</sup>
<i>Bumelia celastrina</i>	-2.93 <sup>c,d</sup>	-3.82 <sup>b</sup>	-0.98 <sup>b,c</sup>	-1.73 <sup>b,c,d</sup>
<i>Prosopis laevigata</i>	-2.87 <sup>b,c,d</sup>	-3.58 <sup>b</sup>	-0.88 <sup>b,c</sup>	-1.42 <sup>a,b</sup>
<i>Zanthoxylum fagara</i>	-2.40 <sup>a,b,c</sup>	-3.20 <sup>a,b</sup>	-0.82 <sup>b</sup>	-1.28 <sup>a,b</sup>
<i>Acacia rigidula</i>	-2.54 <sup>b,c</sup>	-3.22 <sup>a,b</sup>	-0.78 <sup>b</sup>	-1.57 <sup>a,b,c,d</sup>
<i>Celtis pallida</i>	-1.33 <sup>a</sup>	-2.00 <sup>a</sup>	-0.97 <sup>b,c</sup>	-1.43 <sup>a,b,c</sup>
<i>Leucophyllum frutescens</i>	-2.18 <sup>a,b,c</sup>	-2.90 <sup>a,b</sup>	-0.72 <sup>b</sup>	-1.47 <sup>a,b,c</sup>
<i>Forestiera angustifolia</i>	-1.93 <sup>a,b,c</sup>	-2.83 <sup>a,b</sup>	-0.65 <sup>a,b</sup>	-0.98 <sup>a</sup>
<i>Lantana macropoda</i>	-1.83 <sup>a,b</sup>	-2.57 <sup>a,b</sup>	-0.35 <sup>a</sup>	-2.13 <sup>d</sup>
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	-3.72 <sup>d</sup>	-5.38 <sup>c</sup>	-0.70 <sup>a</sup>	-1.50 <sup>a,b,c</sup>

<sup>a,b,c,d,e</sup>Medias dentro de una columna con literales diferentes, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba de Tukey (P=0.05).

En un contexto general, los resultados emanados de la presente investigación revelaron que el  $\Psi_{pd}$  promedio de las especies vegetales estudiadas en el sitio de Los Ramones bajo la condición de sequía tendió a ser mas bajo (-4.61 MPa) con respecto al de Linares, en el cual las especies evaluadas registraron un valor medio de -2.41 MPa. De hecho, en Los Ramones, el valor máximo (-2.72 MPa) y mínimo (-6.82 MPa) registrado correspondió a las especies *P. laevigata* y *Z. fagara*, respectivamente, mientras que para Linares, el valor máximo (-1.33 MPa) y mínimo (-3.72 MPa) detectado correspondió para *C. pallida* y *K. humboldtiana*, respectivamente. Con respecto al  $\Psi_{md}$ , las especies vegetales de Los Ramones registraron un valor máximo y mínimo de -4.0 MPa (*P. laevigata*) y -7.6 MPa (*Z. fagara*), respectivamente. En cambio, para Linares, el  $\Psi_{md}$  fluctuó de -2.0 MPa (*C. pallida*) a -5.38 MPa (*K. humboldtiana*). Similarmente, para el régimen de suficiente humedad, se observó la misma tendencia entre ambos sitios, aunque los órdenes de magnitud de los valores del  $\Psi_{pd}$  y el  $\Psi_{md}$  fueron diferentes entre las especies vegetales estudiadas, es decir, los  $\Psi_{pd}$  y del  $\Psi_{md}$  en las diez especies vegetales mostraron un patrón a ser mas bajos en Los Ramones con respecto al de Linares (Tablas 38 y 40).

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Composición y Estructura de la Vegetación

La diversidad de especies registrada para los tres sitios de estudio fue similar encontrando para los sitios de Los Ramones y China 25 especies y 24 para Linares. Resultados muy similares obtuvo Espinoza y Navar (2005) quienes al analizar la producción de biomasa, diversidad y ecología de especies en un gradiente de productividad en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México registró 17 especies leñosas de porte arbóreo y arbustivo en 15 cuadrantes de 5 X 5 m; hay que destacar que 16 de ellas se incluyen en las 37 identificadas en este trabajo. Este número de especies difiere de lo reportado en otros estudios en regiones semiáridas. Por ejemplo, Tefera *et al.* (2008) registraron 90 especies de plantas leñosas para dos áreas de estudio en las Savannas de Swazilandia con climas semiáridos similares a la región de estudio; considerándose una vegetación con baja estructura y riqueza florística, si es comparada con regiones neotropicales del país. Ejemplo de ello es lo reportado por Guevara *et al.* (1994) quienes encontraron una riqueza de 229 especies en 600 m<sup>2</sup> al evaluar la vegetación y flora de potreros en la Sierra de Los Tuxtlas, Veracruz.

En el presente trabajo se encontró que las especies más representativas del matorral espinoso tamaulipeco y de gran relevancia ecológica son *Acacia rigidula*, *Karwinskia humboldtiana*, *Celtis pallida*, *Castela texana*, *Forestiera angustifolia*,

*Castela texana*, *Eysenhardtia texana* y *Leucophyllum frutescens*. Esto se fundamenta a los valores de IVI calculados para ellas ya que obtuvieron los valores más altos. Con ello se puede afirmar que dichos valores están muy influenciadas por su densidad; es decir, se encuentran espacialmente distribuidas en las áreas de matorral muestreadas. Estas especies parece presentan una mayor plasticidad, dado que se les puede encontrar en los diferentes sitios de muestreo y presentan los valores más altos de los diferentes parámetros evaluados; aunado a ello, Uvalle *et al.* (2008) mencionan que la gran diversidad de plantas nativas en el noreste de México refleja la plasticidad al hacer frente a los déficits estacionales de agua y de temperaturas extremas. Todo lo contrario ocurre con especies como *Schaefferia cuneifolia*, *Ziziphus obtusifolia*, *Acacia farnesiana*, *Wedelia texana* y *Croton torreyanus* con los valores de IVI bajo y escasa presencia en el matorral. Estos patrones poblacionales que se describieron son utilizados para entender la variabilidad espacio-temporal de la comunidad vegetal, así como las distintas respuestas ambientales que presentan las diferentes especies ante cualquier perturbación antropogénica que llevan a un impacto directo sobre el ecosistema.

El análisis del valor de importancia de las especies cobra sentido ya que el objetivo de medir la diversidad biológica es, además de aportar conocimientos a la teoría ecológica contar con parámetros que permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones a favor de la conservación de taxa o áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones en el ambiente (Moreno, 2001). Medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales. Además, identificar un cambio en la diversidad, sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las especies o en dominancia, alerta acerca de procesos



empobrecedores (Magurran, 1988). Es importante señalar la diferencia marcada en el número de individuos registradas en el sitio de Linares las cuales superan en más de 100% a los registrados en los sitios de Los Ramones y de China.

Esta característica indica que este sitio de muestreo no está perturbado o en su defecto el grado de perturbación es mínimo. Este análisis es interesante si se toma en cuenta lo que mencionan Espinoza y Navar (2005) que la vegetación en estos sitios tiene aproximadamente 25 años sin disturbios importantes, y concluyen que la diversidad ha alcanzado un estadio sucesional avanzado en todos los niveles de productividad. Al respecto, estudios realizados en otros ecosistemas, han demostrado que la acción del pastoreo ha provocado la desaparición de las especies nativas más apetecidas por los herbívoros domésticos y que estas han sido sustituidas por otras de menor calidad y por invasoras exóticas (Sala *et al.*, 1986; Morici, 2006). Además, la mayoría de las especies encontradas en este trabajo son reportadas como especies forrajeras y tradicionalmente han sido usadas como fuente de forraje para la fauna silvestre y ganado doméstico (Reid *et al.*, 1990, Ramirez, 1999, Uvalle *et al.*, 2008).

## **6.2 Pigmentos Vegetales**

Las clorofilas y carotenoides absorben la energía luminosa y la transfieren al aparato fotosintético de las hojas; por consiguiente, las determinaciones del contenido de los pigmentos en las hojas pueden proporcionar una valiosa herramienta para integrar y entender la función fisiológica y bioquímica de las hojas (Sims y Gamon, 2002). Los resultados de este estudio sugieren que el contenido de clorofilas **a** y **b** y los carotenoides de árboles y arbustos varían entre años, estaciones y entre plantas dentro de

años y estaciones. Estas conclusiones confirman la importancia de dirigir investigaciones hacia estas plantas nativas, que cuentan con un valor ecológico y con un potencial forrajero. Entender la función que los pigmentos de las plantas, pueden jugar en la productividad de los ecosistemas, y la influencia de sequías y temperaturas extremas que prevalecen durante las estaciones de invierno y verano en esta región (González *et al.*, 2000).

Se ha establecido que la productividad de las plantas es mediada por las hojas y por las adaptaciones de las plantas al ambiente involucrando los rasgos de las hojas (Valladares *et al.*, 2000). La vegetación nativa del noreste de México, esta compuesta principalmente por arbustos y árboles pequeños, y se caracteriza por baja productividad de biomasa (entre 3.2 kg de materia seca ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>; Villalón, 1989) ya que durante las estaciones secas, las plantas nativas tienen que enfrentarse a una deficiencia de humedad en el suelo, altas temperaturas y altos niveles de irradiación (González *et al.*, 2004). Además, estas plantas tienen bajo potencial acuoso en los tejidos debido a que están expuestos a bajas temperaturas (-3, -5° C) durante el invierno y climas secos y cálidos (hasta 40 °C) en las estaciones de primavera y verano (González *et al.*, 2000; 2004).

Bajo tales condiciones ambientales, la fotosíntesis puede estar limitada por la temperatura, el control estomático y por el daño ocasionado por la energía luminosa. Adicionalmente, el contenido de clorofilas y la relación clorofila **a/b**, en algunas plantas, son afectadas por la temperatura (Ottander *et al.*, 1995) y sombra (Castrillo *et al.*, 2001). La estacionalidad de los pigmentos en plantas evaluados en este estudio también fue reportado por Schlerf *et al.* (2003) en acículas de píceas; sin embargo, ellos encontraron valores altos. Esto sugiere que la variación de pigmentos podría estar relacionada a las fases fenológicas de las especies de plantas como la floración y producción de renuevos

(Arthur *et al.*, 1987). Otros estudios han revelado que la pérdida del contenido de pigmentos podría haber sido asociado con la reducción en el flujo de nitrógeno dentro del tejido de la hoja, alteraciones en la actividad del sistema enzimático tal como nitrato reductasa (Morilla *et al.*, 1973) o nitrogenasa en leguminosas (Engin y Sprent, 1973). En este trabajo las especies pertenecientes a la familia Fabaceae muestran el contenido más alto en clorofila **a** que las especies de la familia no Fabaceae (Tabla 13). Estas diferencias pueden tener relación a la capacidad de la fijación potencial de nitrógeno simbiótico de *A. rigidula* y *P. laevigata* (Zitzer *et al.*, 1996) puesto que estas especies alcanzaron el más alto contenido de nitrógeno (1.7 % de biomasa seca) que las no Fabaceae (1.4%) (Resultados aun no publicados del análisis del contenido de nitrógeno de las especies estudiadas). Es claro que el nitrógeno es un elemento esencial de la estructura de la clorofila (Goodwin y Mercer, 1988). Similarmente, otros estudios también han mostrado el más alto contenido de clorofila en Fabaceae que en no Fabaceae (Northup *et al.*, 2005; Hughes *et al.*, 2007). En esta investigación, sin embargo, el contenido de clorofila **b** y los carotenoides permanecieron iguales iguales entre ambas familias.

En este estudio, las clorofilas en todas las plantas fueron más altas que los carotenoides. Además, se encontró una relación significativa linear positiva entre el contenido de carotenoides y clorofila **a** (Figura 3). El contenido de clorofila **a** explica aproximadamente el 32% (China;  $p < 0.001$ ), 39% (Los Ramones  $p < 0.001$ ) y 45% (Linares,  $p < 0.001$ ) de la estacionalidad total de los carotenoides. Estos resultados van de acuerdo con Sims y Gamon (2002) quienes estudiaron la relación entre el contenido de pigmentos en la hoja y la reflectancia espectral en un amplio rango de especies de plantas. La relación entre los carotenoides y el contenido de clorofila **a** incluye un rango

de hojas sanas y tejidos de hojas en estrés debido a sequías y temperaturas extremas (Tabla 4) durante el invierno del 2006 fue registrada una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  en la región causando posiblemente una reducción en el contenido de clorofila **b** en los tres sitios de muestreo (Figura 3). Sin embargo, el patrón estacional del contenido de clorofila **a** fue mas variable que el de clorofila **b** o de los carotenoides en todas las plantas.

En general, las especies arbóreas tienen mas alto contenido de clorofila **a** que los arbustos. En contraste, los contenidos de clorofila **b** y los carotenoides no difieren por la forma de crecimiento de las plantas. Las especies perennes como son *Bumelia celastrina*, *Celtis pallida*, *Karwinskia humboldtiana* y *Zanthoxylum fagara* tienen el contenido más alto de clorofila **a** (promedio =  $0.7\text{ mg g}^{-1}$  peso fresco) que las especies caducifolias como son *Forestiera angustifolia*, *Castela texana* y *Croton cortesianus* (0.6).

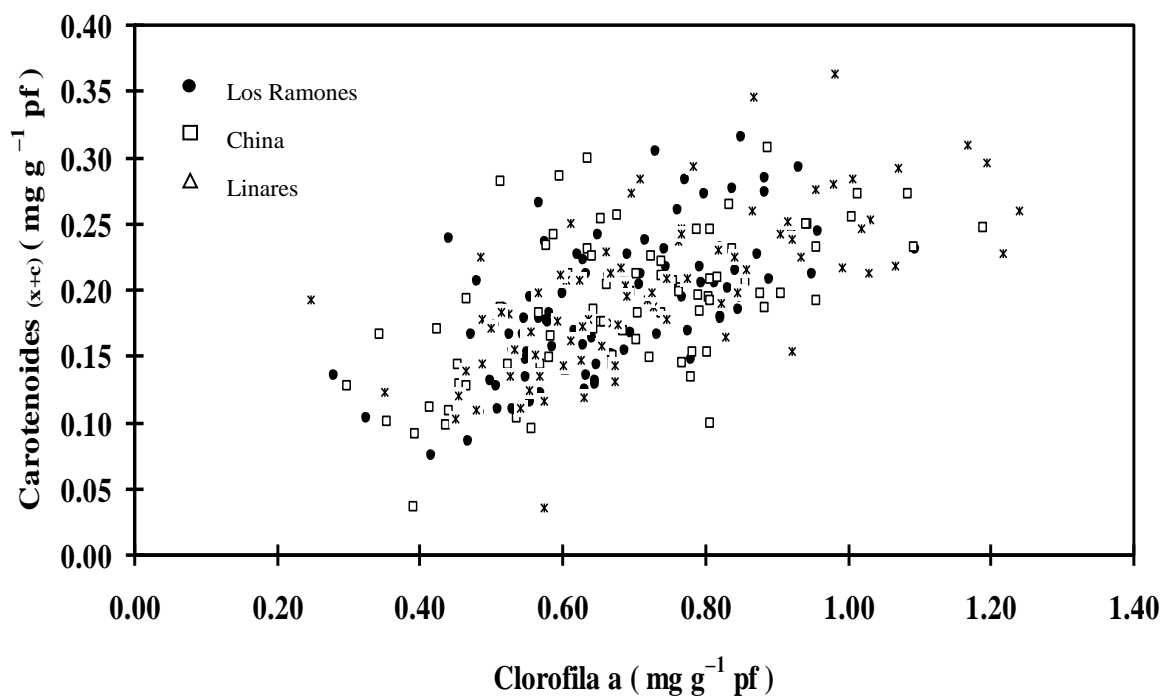


Figura 3

Relación entre el contenido de carotenoides(x+c) y la clorofila **a** de la hoja para todas las muestras de tejido en 11 árboles y arbustos nativos en cuatro estaciones de muestreo y dos años consecutivos. Los puntos referenciados son promedios a partir de cuatro mediciones independientes por especies de planta, por estación y por año.

Las variaciones en el contenido de clorofila entre las plantas han sido relacionadas al desarrollo de la hoja y la senescencia (Gitelson y Merzlyak, 1994; Gamon y Surfus, 1999; Carter y Knapp, 2001). Valladares *et al.* (2000) reportaron que el contenido de clorofila fue más alto en hojas a la sombra que en hojas al sol, mientras que el contenido de los carotenoides se incrementa con la luz. Adicionalmente, Niinemets (1997) discute que el decremento de la irradiación solar aumenta la síntesis de clorofila.

Estudios acerca de la composición de carotenoides de hojas expuestas al sol de plantas con diferentes formas de vida han revelado que contienen las mayores cantidades de los componentes de la xantofila del ciclo de la violaxantina, anteraxantina y zeaxantina, así como también  $\beta$ -carotenos que las hojas bajo sombra (Demmig-Adams y Adams, 1992). Sin embargo, en el presente estudio queda poco claro si el alto o bajo contenido de clorofila en una estación dada está relacionado con hojas a la sombra o al sol, ya que la muestra fue una combinación de hojas tomada de cada especie en forma individual. Kyparissis *et al.* (1995), han indicado que la reducción de clorofila no es resultado del daño severo fotoinhibitorio, en cambio, esto puede ser una respuesta adaptativa contra las condiciones adversas del verano mediterráneo. Este razonamiento podría ser aplicado a los ecosistemas del noreste de México, tomando en cuenta la disponibilidad de agua, como las condiciones de campo en el mediterráneo (Kyparissis *et al.*, 2000; Valladares *et al.*, 2000; Oliveira y Peñuelas, 2001), es el factor más limitante que controla el crecimiento de la planta, la sobrevivencia y la distribución en los climas secos (Kramer, 1983; Newton y Goodin, 1989). En este trabajo, aunque, no se detectó una relación clara entre el contenido de pigmentos y la temperatura y precipitación promedio. La gran diversidad de plantas nativas en el noreste de México refleja la plasticidad de cómo las especies de árboles y arbustos hacen frente al déficit de

agua, temperaturas extremas (heladas o calidas) y los niveles excesivos de radiación como principales causas de estrés que pueden ocurrir durante las estaciones de invierno o del verano.

## 6.3 Contenido Mineral

### 6.3.1 Calcio

De acuerdo a los resultados presentados, los contenidos de Ca en las diferentes especies en el sitio de Los Ramones son altos y presentan valores que van de 13.9 a 244.6 g.kg<sup>-1</sup> en el primer año de muestreo y de 5.8 a 91.9 g.kg<sup>-1</sup> en el segundo. En China, los contenidos van de 12.6 a 185.2 g.kg<sup>-1</sup> en el primer año y de 5.7 a 134 g.kg<sup>-1</sup> en el segundo. En el caso de Linares, se registraron en el primer periodo 7.4 a 212.4 g.kg<sup>-1</sup> y en el segundo 8.3 a 129.5 g.kg<sup>-1</sup>. Las especies más sobresalientes en los dos años en los diferentes sitios fueron *Celtis pallida*, *Lantana macropoda*, *Karwinskia humboldtiana* y *Castela texana*, y las que presentaron los contenidos más bajos se observaron en *Forestiera angustifolia*, *Leucophyllum frutescens*, *Acacia rigidula* y *Croton cortesianus*. Aun cuando el contenido de Ca presentó variaciones importantes espaciales y temporales, inclusive entre especies, este fue suficiente para cubrir la demanda requerida por las cabras en pastoreo (1.8 a 3.3 g.kg<sup>-1</sup>; NRC, 1981; Kessler, 1991) y de los requerimientos de ganado bovino (3.2 g.kg<sup>-1</sup>, NRC, 1996). Al respecto, Ramírez *et al.* (2001) al estudiar la variación estacional del contenido de macro y microminerales en 14 especies arbustivas que crecen en el noreste de México, mencionan que en general, durante el verano e invierno la mayoría de las plantas tienen un alto contenido de Ca que

en otras estaciones y que a pesar de esas variaciones estacionales cuentan con niveles adecuados de Ca. Al parecer el follaje de plantas arbustivas que crecen en las regiones semiáridas (Barnes *et al.*, 1990) y tropicales (Norton y Poppi, 1995) tienen suficiente Ca para el desarrollo óptimo del ganado y de la fauna silvestre que apacentan en esos lugares. Se ha estipulado que un promedio de 5 g.kg<sup>-1</sup> de Ca en las partes aéreas de las plantas superiores son considerados adecuados (Salisbury y Ross, 1994a); destacando que todas las plantas en este estudio registraron valores superiores a este valor.

### 6.3.2 Magnesio

Los contenidos de Mg en Los Ramones se distribuyen uniformemente y en ciertas estaciones del año. En el primer año de muestreo presentando valores que van de 2.4 a 72.3 y de 0.7 a 7.6 g.kg<sup>-1</sup> en el segundo año. En este mismo orden, en China se observó de 2.6 a 110 g.kg<sup>-1</sup> y de 0.8 a 8.4 g.kg<sup>-1</sup> y en Linares 2 a 49 g.kg<sup>-1</sup> y de 0.5 a 7 g.kg<sup>-1</sup>. El Mg presenta un comportamiento definido, mostrando los contenidos más altos en las estaciones de otoño en los dos años que duro el estudio y una tendencia hacia la baja en invierno, primavera y verano, siendo esta última en donde se registraron los valores más bajos. Quizá, este comportamiento se deba a la influencia del periodo de lluvias de septiembre y octubre en la región de estudio, incrementando las arbustivas el contenido de este nutrimento y excediendo los requerimientos del ganado bovino, como ocurre en algunos pastos Ganskopp y Bohnert (2003). Barnes *et al.* (1990), reportaron alto contenido de Mg (1.1-8.0 g.kg<sup>-1</sup> materia seca de 18 arbustos que crecen en Texas, USA. Norton y Poppi (1995) citado por Ramírez *et al.* (2001), encontraron que algunas leguminosas tropicales de uso común tienen concentraciones de Mg que satisfacen los



requerimientos de los rumiantes. En tanto Moya *et al.* (2002) al estudiar la variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas mencionan que el contenido de Mg de las arbustivas tuvieron contenidos por encima del nivel requerido en la dieta de cabras adultas.

### 6.3.3 Potasio

En los diferentes sitios de muestreo se registran variaciones en los contenidos de K. En Los Ramones, los valores fluctuaron entre 2.5 a 305 g.kg<sup>-1</sup> en el primer año de muestreo y de 1.1 a 66 g.kg<sup>-1</sup> en el segundo año. En China, los valores fluctúan de 5.1 a 109.9 g.kg<sup>-1</sup> y de 0.2 a 44.7 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. En tanto en Linares, de 0.2 a 270.5 g.kg<sup>-1</sup> y de 4.1 a 43.3 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Las especies más sobresalientes en los dos años que duro el muestreo en los diferentes sitios fueron *Croton cortesianus*, *Karwinskia humboldtiana*, *Lantana macropoda* y *Leucophyllum frutescens*. Las que presentaron las concentraciones más baja fueron *Acacia rigidula*, *Karwinskia humboldtiana*, *B. celastrina*. A pesar de las variaciones en el contenido de K, de las especies estudiadas, estas reúnen los niveles requeridos en la dieta de las cabras adultas (1.8 a 2.5 g/kg de materia seca, NRC, 1981) y ganado bovino (5.76 g.kg<sup>-1</sup>; NRC, 1996), excepto en *A. rigidula* (1.1 g.kg<sup>-1</sup>) y *K. humboldtiana* (1.4 g.kg<sup>-1</sup>), ambas ubicadas en el verano 2005 (segundo año de muestreo) en Los Ramones. Así como *A. rigidula* (0.2 g.kg<sup>-1</sup>) y *B. celastrina* (0.5 g.kg<sup>-1</sup>) localizadas en invierno 2006 (segundo año de muestreo) de China; y en *B. celastrina* (0.2 g.kg<sup>-1</sup>) en invierno 2005 (primer año) de Linares. Se ha establecido que el contenido de K parece variar en función de la edad de la hoja y las condiciones ambientales (Greene *et al.*, 1987; Grings *et al.*, 1996). Por otra parte, la

variación estacional en el contenido de K puede estar relacionada a la disponibilidad de agua, porque la absorción de K por la raíz está ligada a la humedad del suelo. Adicionalmente, se puede mencionar que, bajo condiciones óptimas de humedad del suelo el contenido de K usualmente excede los requerimientos de nutrientes por las plantas, pero bajo estrés hídrico la absorción de K puede ser limitada y puede desarrollarse una deficiencia (Ramírez-Orduña *et al.*, 2005). Los altos niveles de Ca encontrados en este trabajo benefician el estatus del K en las plantas, ya que puede promover la absorción de K en lugar de Na (Salisbury y Ross, 1994b). Se tienen referencias de que las especies arbustivas de regiones semiáridas de Texas, EUA (Everitt y González, 1981; Norton y Poppi, 1995) y de Nuevo León, México (Ramírez *et al.*, 2001), así como también algunas leguminosas tropicales (Spears, 1994), contienen niveles adecuados de K para cubrir los requerimientos de las cabras en pastoreo. Parece que el follaje de arbustivas que crecen en regiones semiáridas contienen K tanto como 10 veces el nivel requerido (Barnes *et al.*, 1990). Sin embargo de acuerdo a Underwood (1981), este hecho puede ser desventaja ya que las altas concentraciones de K pueden interferir con la retención de Na, absorción y utilización de Mg. Se reporta que el contenido mineral del alimento es una importante determinante en la distribución espacial de animales en el Parque Nacional Serengeti, Tanzania. Basados en criterios ecológicos el Mg, Na y P parecen particularmente importantes (McNaughton, 1998).

#### **6.3.4 Fósforo**

En general los contenidos de P son muy bajos en todas las especies, estaciones y sitios de muestreo. En Los Ramones durante el primer año se registraron valores que

van de 0.1 a 2.0 mg.kg<sup>-1</sup>. En siguiente año se presentaron de 0.1 a 1.7 mg.kg<sup>-1</sup>. Siguiendo este orden, en China se encontraron valores que van de 0.4 a 3.1 mg.kg<sup>-1</sup> y de 0.2 a 1.9 mg.kg<sup>-1</sup>; en tanto en Linares, de 0.3 a 1.9 mg.kg<sup>-1</sup> y de 0.1 mg.kg<sup>-1</sup> 1.5 mg.kg<sup>-1</sup>. Entre las especies que mostraron los máximos valores se identifican *C. cortesianus*, *P. laevigata*, *C. pallida* y *L. macropoda* y los mínimos se encontraron en *C. texana*, *F. angustifolia*. De acuerdo a la información disponible de los requerimientos de P para cubrir el nivel requerido en la dieta de las cabras adultas (1.8 a 3.3 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca de forraje, NRC, 1981; Kessler, 1991) las diferentes especies en la mayoría de los casos no reúnen dichos valores salvo algunas especies en determinadas estaciones y en determinados sitios; tal es el caso del sitio Los Ramones en el primer año de muestreo en el cual encontramos especies con valores dentro del rango de concentraciones de P requeridos en la dieta. Estas especies son *C. cortesianus* (2.0 mg.kg<sup>-1</sup>) en primavera y otras especies que quedan en el límite inferior de ese rango son *P. laevigata*, *C. pallida*, *F. angustifolia* y *L. macropoda* todas con un valor de 1.8 mg.kg<sup>-1</sup> y corresponden a las estaciones de invierno y primavera. En este mismo sitio, pero en el segundo periodo de estudio, se registró a *A. rigidula* (1.6 mg.kg<sup>-1</sup>) y *Z. fagara* (1.7 mg.kg<sup>-1</sup>) ambos en primavera 2006. En China en el primer año de muestreo fueron 8 especies que se encuentran en el rango marcado y son *C. cortesianus* (2.8 mg.kg<sup>-1</sup>), *L. frutescens* (1.9 mg.kg<sup>-1</sup>), *K. humboldtiana* (2.1 mg.kg<sup>-1</sup>), *A. rigidula* (1.8 mg.kg<sup>-1</sup>), *P. laevigata* (2.0 mg.kg<sup>-1</sup>), *C. pallida* (2.0 mg.kg<sup>-1</sup>), *Z. fagara* (3.1 mg.kg<sup>-1</sup>) y *L. macropoda* (2.3 mg.kg<sup>-1</sup>). En el segundo año solo *C. cortesianus* (1.7 mg.kg<sup>-1</sup>) y *Z. fagara* (1.9 mg.kg<sup>-1</sup>) ambas en primavera. En Linares solo 4 especies presentan valores aceptables y son: *C. cortesianus* (1.6 mg.kg<sup>-1</sup>) en primavera y *A. rigidula* (1.9 mg.kg<sup>-1</sup>), *P. laevigata* (1.9 mg.kg<sup>-1</sup>), *C. pallida* (1.6 mg.kg<sup>-1</sup>) ubicadas en invierno 2005. En el resto de las especies y estaciones

de muestreo en este sitio todos los valores fueron inferiores a los que requieren las cabras para cumplir sus funciones. Barnes *et al.* (1990) citado por Ramírez *et al.* (2001) reportan que los picos de las concentraciones de P fueron durante la primavera, coincidiendo con lo que se encontró en este estudio en el cual las plantas que registraron valores adecuados de P ocurren en esta estación. La deficiencia de P también ha sido reportada en arbustivas de regiones semiáridas (Barnes *et al.* 1990; Ramírez *et al.* 2001) principalmente en las estaciones de verano, otoño e invierno.

### 6.3.5 Nitrógeno

En general los contenidos de N son bajos en la mayoría de las especies, estaciones y sitios de muestreo, ya que se obtuvieron valores porcentuales van de de 0.2 a 4 %. En Los Ramones, en el primer año se encontraron valores que van 0.3 a 2.8 %, y en el segundo 1.3 a 4%. En China los porcentajes van de 0.2 a 2.6 (primer año) y de 0.7 a 3.1 % (segundo año) y en Linares presentaron 0.2 a 2.9 % (primer año) y de 1.4 a 3.5 % (segundo año). Las especies más sobresalientes fueron *Prosopis laevigata*, *Celtis pallida* y *Croton cortesianus* y las más bajas, *Karwinskia humboldtiana*, *Forestiera angustifolia* y *Castela texana*. En los dos años de muestreo, en los tres sitios, las especies acumularon los valores más altos en la estación de primavera. Al respecto De Datta (1986) menciona que la acumulación de N es alta durante las primeras etapas de crecimiento, disminuyendo posteriormente en forma progresiva. Después de la floración se produce una importante traslocación del N de los órganos vegetativos a los granos. Al aumentar la dosis de abonado nitrogenado se incrementa el contenido de nitrógeno foliar. De hecho en una condición variable de suministro de N, la toma del N por la

planta es regulado por el índice potencial de crecimiento y la disponibilidad de N en el suelo (Lemaire *et al.*, 2008). La variación interna del N en la planta puede ser esperada por una variación en la concentración externa de N (Agren y Ingestad, 1987). La productividad de N en la planta es la que se define como el incremento en la materia seca de la planta por unidad de tiempo y por unidad de N contenido en la planta (Agren, 1985). En la producción de los pastizales, el elemento N es uno de los nutrientes más importantes, el cual se caracteriza por estar sometido a una dinámica permanente de transformación y síntesis de carácter bioquímico en el sistema suelo-planta, en donde se presentan fenómenos de ganancias y pérdidas del elemento en periodos relativamente cortos (Pirela *et al.*, 2005). El N frecuentemente es considerado ser el más importante factor limitante, después del déficit de agua, para la producción de biomasa en los ecosistemas (Lemaire *et al.*, 2008).

#### **6.3.6 Cobre**

Los contenidos de Cu en las diferentes especies en el sitio de Los Ramones son variables y presentan valores que van de 3.0 a 42.1 mg.kg<sup>-1</sup> en el primer año de muestreo y de 0.6 a 17 mg.kg<sup>-1</sup> en el segundo. En China, los contenidos variaron de 3.1 a 22.5 mg.kg<sup>-1</sup> en el primer año y de 0.5 a 9.3 mg.kg<sup>-1</sup> en el segundo. En Linares, se registraron en el primer periodo de 4.1 a 104.2 mg.kg<sup>-1</sup> y en el segundo de 0.8 a 17.4 mg.kg<sup>-1</sup>. Las especies más sobresalientes en los dos años que duro el muestreo en los diferentes sitios son *P. laevigata*, *L. frutescens* y *L. macropoda* y las que presentaron los valores mínimos son *C. texana*, *C. pallida* y *A. rigidula*. En este trabajo se observó que los contenidos adecuados de Cu se acentúan en ciertas estaciones como en verano 2004 y

primavera 2005 del primer año de muestreo en Los Ramones. En China en el primer año de estudio es en primavera en donde se registran los valores más altos y se encuentran dentro del rango marcado como necesario para la alimentación de cabras adultas (8 a 10 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca del forraje; Kessler, 1991) incluso para ganado bovino (9.6 mg.kg<sup>-1</sup>; NRC, 1996). En el caso de Linares ocurre algo similar agrupándose los valores máximos en verano de 2004. Ramírez *et al.* (2001), encontraron una alta concentración de Cu durante la primavera en arbustivas del noreste de México indicando que la primavera es el periodo de activo crecimiento vegetativo en esas regiones. Moya *et al.* (2002), al evaluar la variación estacional de minerales en las hojas de especies arbustivas afirma que todas las plantas evaluadas presentaron contenidos de Cu marginalmente superiores al nivel requerido en la dieta de cabras. También mencionan que la información disponible sobre el contenido de Cu en arbustivas de regiones semiáridas de Texas, EUA y Nuevo León, México, ha reportado valores anuales de 6.6 mg.kg<sup>-1</sup> y 5.6 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Lo que indica, que mucha de esas arbustivas mostraron un bajo contenido de ese mineral. Asimismo, leguminosas tropicales que contienen alrededor de 10 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu solamente se les considera como fuentes marginales. En cambio, aquellos forrajes que contienen cantidades de 20 a 50 mg.kg<sup>-1</sup> de este mineral se les consideran potencialmente tóxicos (Norton y Poppi, 1995).

### **6.3.7 Manganeso**

Los contenidos de Mn en Los Ramones, en el primer año de muestreo, presentaron valores que van de 13.5 a 112.3 mg.kg<sup>-1</sup> y de 4.7 a 88.9 mg.kg<sup>-1</sup> en el segundo año. En este mismo orden, en China se determinó de 6.9 a 73.8 mg.kg<sup>-1</sup> y de

2.0 a 51.4 mg.kg<sup>-1</sup> y en Linares 9.2 a 353.5 mg.kg<sup>-1</sup> y de 5.0 a 227.2 mg.kg<sup>-1</sup>. Las especies más sobresalientes fueron *F. angustifolia*, *Z. fagara* y *C. cortesianus* y entre las que presentaron los valores más bajos están *A. rigidula*, *L. frutescens* y *K. humboldtiana*. Estas últimas, solo en algunas estaciones, reúnen las concentraciones requeridas en la dieta de cabras adultas (30 a 40 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca de forraje; Kessler, 1991) y la de ganado bovino (28.8 mg.kg<sup>-1</sup>; NRC, 1996). Para el caso de la mayoría de las especies evaluadas, cuentan con los contenidos necesarios. Se tienen reportes de 18 arbustivas del sur de Texas, EUA, con cantidades suficientes de Mn (media anual de 38.0 mg.kg<sup>-1</sup>) para cubrir los requerimientos de la dieta del venado cola blanca (Barnes *et al.* 1990 citado por Moya *et al.* (2002). Sin embargo, Ramírez *et al.* (2001) al evaluar 14 arbustivas en el noreste de México, solo en 5 presentaron niveles adecuados de este mineral. Barnes *et al.* (1990) reportó que con excepción de los frutos de *Acacia berlandieri*, *Acacia tortuosa* y *Prosopis glandulosa*, todas las plantas evaluadas que ocurren en el sureste de Texas, USA, tienen bajos niveles de Mn para reunir los requerimientos del ganado en pastoreo (20 a 40 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca; NRC, 1984).

### 6.3.8 Fierro

Los contenidos de Fe en los diferentes sitios de muestreo, estaciones y plantas son muy variables y en general presentan valores altos con respecto a los requerimientos de ganado caprino (Kessler, 1991) y bovino (Ganskopp y Bohnert, 2003). En Los Ramones en el primer año de muestreo se registraron valores que van de 36.1 a 475.4 mg.kg<sup>-1</sup> y de 15.5 a 728.8 mg.kg<sup>-1</sup> en el segundo año. En China, se determinaron valores de 48.8 a 476.4 mg.kg<sup>-1</sup> y de 11.1 a 449.6 mg.kg<sup>-1</sup> y en Linares de 25.1 a 512.6 mg.kg<sup>-1</sup> y

de 12.9 a 185.8 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Las especies con los más altos contenidos fueron *L. frutescens*, *C. cortesianus*, *L. macropoda* en tanto las que registraron los valores mínimos fueron *F. angustifolia*, *P. laevigata*, *C. pallida*. A pesar de las diferencias tan marcadas en los valores todas las arbustivas cuentan con niveles adecuados de Fe y reúnen los requerimientos de cabras adultas en pastoreo (30 a 40 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca en la dieta; Kessler, 1991) y de los de ganado bovino (48 mg.kg<sup>-1</sup>; Ganskopp y Bohnert, 2003). Aunque hubo una reducción importante de los niveles de Fe en el verano de 2005 en los tres sitios de muestreo, disminuyendo los valores hasta un nivel más bajo que el requerido por cabras y ganado bovino. Se ha reportado que altos niveles de taninos condensados en plantas en pastoreo puede decrecer la absorción de Fe. Arbustos como son *Acacia berlandieri*, *Acacia rigidula*, *Desmanthus virgatus*, *Leucaena leucocephala* son reportados (Ramírez *et al.*, 2004) que tienen altos niveles de taninos condensados. Por consiguiente, la alta ingesta de esas plantas puede decrecer la absorción de Fe. Sin embargo, se ha reportado que los animales en pastoreo tienen enzimas salivares que degradan los taninos, de esta manera su presencia puede no inhibir la digestión de las plantas ni la absorción del contenido mineral de la planta (Van Soest *et al.*, 1986).

### 6.3.9 Zinc

Los contenidos de Zn en las diferentes especies en el sitio de Los Ramones son altos y presentan valores que van de 17.3 a 275.6 mg.kg<sup>-1</sup> en el primer año de muestreo y de 4.1 a 109.5 mg.kg<sup>-1</sup> en el segundo. En China, los contenidos fueron de 4.2 a 208.4 mg.kg<sup>-1</sup> en el primer año; y de 3.8 a 30.9 mg.kg<sup>-1</sup> en el segundo. En el caso de Linares se



registraron en el primer periodo de 5.0 a 247.1 mg.kg<sup>-1</sup> y en el segundo de 4.0 mg.kg<sup>-1</sup> a 96.5 mg.kg<sup>-1</sup>. Las especies más sobresalientes en los dos años que duro el muestreo en los tres sitios fueron *P. laevigata*, *F. angustifolia* y *Lantana macropoda* y las que registraron valores mínimos fueron *C. cortesianus*, *K. humboldtiana* y *C. pallida*. Los contenidos de Zn fueron bajos, aunque algunas especies en ciertas estaciones presentaron valores suficientes para reunir los requerimientos de las cabras que son entre 40 a 50 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca de Zn en sus dietas (Kessler, 1991); estas especies son *A. rigidula* (41.4 mg.kg<sup>-1</sup>), *P. laevigata* (129.9 mg.kg<sup>-1</sup>), *F. angustifolia* (81.2 mg.kg<sup>-1</sup>) y *L. macropoda* (44.8 mg.kg<sup>-1</sup>) ubicadas en Los Ramones en la estación de verano 2004. En este mismo sitio, en primavera (2005), las once especies evaluadas mostraron valores adecuados. Para el segundo año de muestreo, solo dos especies mostraron valores de Zn mayores al requerido por las cabras.

En el sitio de China, solo cuatro especies en verano de 2004 y solo una en primavera 2006 mostraron valores superiores a los requeridos. En Linares, en verano de 2004, todas las plantas mostraron valores adecuados y 9 en primavera 2005. En el segundo año, 2 especies en primavera 2006 y una en invierno 2006 reunían los valores requeridos por las cabras en pastoreo. Los valores máximos de Zn se acentuaban en las estaciones de verano y de primavera. En la mayoría de las especies y en las estaciones no reunían los requerimientos de este mineral. Los picos en los niveles de Zn parecen estar relacionados a las precipitaciones de verano e invierno. Algunos arbustos que ocurren en Texas, USA (Barnes *et al.*, 1990), y en el noreste de México (Ramírez *et al.*, 2001; Moya *et al.*, 2002) tienen niveles de Zn que varían estacionalmente, pero solo algunos de ellos reúnen los requerimientos para ganado doméstico y venado cola blanca (30 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca en la dieta; Kessler, 1991). En este estudio, solo algunas

especies en ciertas estaciones del año cuentan con ese nivel de Zn requerido. Se ha reportado que algunas especies arbustivas de las regiones semiáridas de Texas (EUA) y Nuevo León (México), no contienen niveles de Zn en cantidades suficientes para satisfacer los requerimientos nutricionales de los rumiantes que pastan en esas áreas (Barnes *et al.*, 1990; Ramírez, *et al.* 2001).

#### **6.3.10 Cenizas**

Los porcentajes de cenizas en Los Ramones presentan valores que van de 2.1 a 17.7 % en el primer año de muestreo y de 0.6 a 21.3 % en el segundo. En China, variaron de 2.6 a 30.3% en el primer año; y de 2.8 a 63.4 % en el segundo. En el caso de Linares, se registraron en el primer periodo variaciones de 1.2 a 20.3% y en el segundo de 1.6 a 18.5 %. Las especies que presentaron los porcentajes más sobresalientes en los dos años fueron *L. macropoda*, *C. pallida*, *C. texana* y los más bajos *F. angustifolia*, *L. frutescens* y *P. laevigata*. Los valores obtenidos son diferentes a los reportados por Kamalah *et al.* (2004), quienes al evaluar el valor nutritivo hojas de encinos, encontró valores de 7 % en *Quercus branii*, 6.9 % en *Q. coccifera*, 5.3 % *Q. cercis*, 4.8 % en *Q. libani* y de 6.7 5 % en *Q. infectaria*.

#### **6.4 Relaciones Hídricas**

El presente estudio demuestra que la respuesta al contenido de agua disponible en el suelo y la hora de muestreo efectuado para conocer el estado hídrico del tejido vegetal es diferente en cada especie vegetal como se ilustró en las Tablas 38 y 40. Esto

lo demuestran las diferencias observadas en los valores de los  $\Psi_{pd}$  y  $\Psi_{md}$  en ambas condiciones hídricas registrados en los dos sitios de estudio. Los valores más bajos se encontraron en Los Ramones en las especies *Zanthoxylum fagara* (-7.60 MPa), *Lantana macropoda* (-7.20 MPa) y *Karwinskia humboldtiana* (-7.00 MPa), bajo la condición de sequía al mediodía ( $\Psi_{md}$ ); contrario a ello, las especies con los  $\Psi$  más altos fueron *Lantana macropoda* (-0.35 MPa; sitio de Linares), *Karwinskia humboldtiana* (-0.52 MPa), *Forestiera angustifolia* y *Lantana macropoda* ambas con -0.55 MPa (Los Ramones). Estos valores se registraron bajo la condición de suficiente humedad y al pre-amanecer. Los valores registrados en el  $\Psi_{pd}$  y  $\Psi_{md}$  están relacionados a las diferencias en los contenidos de humedad disponible en el suelo y probablemente a los componentes de la demanda evaporativa atmosférica (González *et al.*, 2004). Nortes *et al.* (2005) concluyen que el potencial hídrico de las hojas al pre-amanecer y al mediodía mostró una respuesta a los cambios del agua causados por diferentes tratamientos de humedad en el suelo, confirmando su sensibilidad al régimen hídrico del suelo.

En diversas investigaciones se documenta que las diferencias en los potenciales hídricos entre las especies vegetales se asocia a diferentes factores ambientales como lo es el periodo de sequía en la cual se manifiesta un déficit de agua en el suelo, provocando una disminución en el potencial hídrico en las plantas evaluadas, así como también, a las condiciones climáticas prevalecientes al amanecer y al mediodía y a los contenidos de humedad en el suelo (Elfving *et al.*, 1972; Katerji *et al.*, 1988; González y Cantú, 2001; Urdaneta *et al.*, 2003; Ortuño *et al.*, 2005; Burghardt *et al.*, 2008). El potencial hídrico de la hoja está en función del contenido de humedad en el suelo (Elfving *et al.*, 1972; González *et al.*, 2000; Parra *et al.*, 2002; González *et al.*, 2004). Ortuño *et al.* (2005) al evaluar el flujo de savia y las fluctuaciones en diámetro del

tronco en árboles jóvenes de limón bajo estrés hídrico observaron que el potencial hídrico al pre-amanecer disminuye progresivamente en esta especie y puede estar relacionado con el alto grado de regulación estomática detectada en dicha especie. Urdaneta *et al.* (2003) observaron que el potencial hídrico del tallo y de la hoja disminuyeron progresivamente durante el día en guayabos (*Psidium guajava* L.). González y Cantú (2001), observaron que periodos de sequía prolongados tuvieron un efecto dramático en la disminución del potencial hídrico al pre-amanecer. Dichos autores, asociaron los bajos potenciales hídricos a las bajas precipitaciones y altas temperaturas registradas durante los periodos de sequía.

Otro posible factor asociado a las diferencias en los potenciales hídricos es la profundidad del sistema radicular entre las especies estudiadas ya que se ha observado que especies vegetales pertenecientes al género *Prosopis* y *Acacia* se caracterizan por presentar una raíz pivotante y muy profunda (Monson y Smith, 1982), cuyo sistema radicular aparentemente tendría acceso a un mayor volumen de agua en el suelo. La distribución de las raíces con la profundidad representa una estrategia que favorece la extracción de humedad en forma muy eficiente (Guenni *et al.*, 2002; Vamerali *et al.*, 2003) por lo que la plasticidad morfológica observada entre las especies a la condición de sequía indica la importancia de su papel como una estrategia evasiva a bajos nivel de humedad en el suelo. Bajo esta regulación evasiva, se esperaría encontrar una estrecha relación entre la profundidad de enraizamiento y el volumen total de humedad extraído del perfil, aún a contenidos de humedad edáfica bajos (Guenni *et al.*, 2006).

Adicionalmente, las diferencias entre los  $\Psi_{pd}$  y  $\Psi_{md}$  observadas entre las especies estudiadas a altos o bajos contenidos de humedad en el suelo probablemente

estén relacionados a la tasa de pérdida de agua vía proceso de transpiración (Newton *et al.*, 1991). Al igual que en la presente investigación, respuestas similares en el  $\Psi$  han sido observadas en otras especies arbustivas (González *et al.*, 2000; 2004). Los mecanismos para evitar la sequía incluyen una eficiente regulación estomática y las que se refiere a tolerancia a la sequía involucra procesos a nivel celular, particularmente adaptación osmótica (Nunes *et al.*, 2008). Otros factores asociados a las variaciones en los potenciales hídricos entre las especies vegetales está relacionada a las propiedades físicas del suelo (González y Cantú, 2001), ya que suelos con mayor contenido de arcilla retienen mayor humedad que suelos con mayor contenido de arena (Honorato, 2000). Al respecto, el sitio de Los Ramones mostró menores contenidos de arcilla (31.3 %) comparado con el sitio de Linares, en el cual se observó un contenido de 51.4 %.

## **7. CONCLUSIONES**

Los resultados encontrados en este estudio indican que debido al efecto de las distintas presiones de pastoreo por el ganado doméstico básicamente por bovino y caprino, y en ocasiones otras actividades antropogénicas se traducen en cambios estructurales de la comunidad vegetal, incluyendo una baja sensible de la densidad de las especies, pérdida de cobertura foliar, aumento de suelo expuesto y menor densidad de especies palatables como herbáceas, gramíneas y arbustivas, lo que ha provocado una disminución en la oferta forrajera, ocasionando pérdida en la sostenibilidad económica de los productores que aprovechan este tipo de comunidad vegetal.

De seguir operando estas actividades a través del tiempo se produce la acumulación de estos efectos negativos manifestándose en una tendencia regresiva de la comunidad vegetal. Por este motivo es necesario llevar adelante estudios que permitan mejorar el manejo del pastoreo si se pretende atenuar, frenar o disminuir los impactos negativos sobre la comunidad de matorral espinoso tamaulipeco y con ello estar en condiciones de proponer medidas para lograr su conservación, buscando alternativas de manejo que no comprometan la estabilidad del ecosistema, y que a la vez logren mantener una alta producción de forraje.

Aunque, todas las plantas difirieron en el contenido del pigmentos vegetales y siguieron un patrón estacional, durante condiciones adecuadas o adversas tales como temperaturas extremas y escasez de agua, ellas podrían desempeñar papeles importantes en mantener la productividad de los ecosistemas secos del matorral. Sin embargo, los estudios en tejido de la hoja a nivel morfológico, anatómico, biofísico, bioquímico, fisiológico, y molecular deben ser dirigidos a aclarar los mecanismos subyacentes empleados por estos árboles y arbustos para adaptarse a este ecosistema y hacer frente a los períodos prolongados de sequía, altas temperaturas y altos niveles del irradiación, con el propósito de identificar los mecanismos fundamentales que aumentan o reducen la concentración del pigmento, y cómo se relacionan con la eficiencia fotoquímica, fotoinhibición y las relaciones del agua en el tejido. Estas preguntas se podrían enfocar en la hoja y el nivel del cloroplasto (tilacoides). Así, los ecosistemas del matorral en el noreste de México proporcionan una excelente oportunidad para investigar la ecofisiología y la capacidad fotoprotectora de los árboles y de los arbustos nativos que se han utilizado tradicionalmente como fuente de forraje para el ganado doméstico y para la fauna silvestre.

En cuanto a la concentración de macro y micronutrientes se encontró que las concentraciones son muy variables temporal y espacialmente pero reúnen y en algunos casos exceden los requerimientos de rumiantes en pastoreo como son los caprinos, bovinos e inclusive venado cola blanca, excepto para de P, Zn y Cu, los cuales muestran contenidos insuficientes en periodos prolongados a lo largo del año, lo cual puede repercutir en la salud y consecuente en la calidad de las especies domésticas y cinegéticas. Los propietarios deberán implementar prácticas de manejo adecuadas e incorporar nuevas técnicas buscando proporcionar a sus predios una alta diversidad de

especies de valor forrajero, permitiendo a los rumiantes que ahí se alimentan tener la oportunidad de contar con una dieta de la más alta calidad y que esté disponible. Las técnicas comunes de manejo de vegetación en forma responsable mediante el uso de maquinaria especializada puede ser una buena opción para fomentar el rebrote de las especies arbustivas, así como la apertura del dosel, permitiendo un incremento en la densidad y diversidad de especies herbáceas; ambos beneficios asociados con un incremento en el valor nutricional del forraje así como del aumento de la biomasa disponible. La capacidad de carga de los predios deberá ser monitoreada muy de cerca evitando así el sobrepastoreo y sus efectos colaterales, ayudando a conservar los ecosistemas del matorral en el noreste de México que se han utilizado tradicionalmente como fuente de forraje para el ganado doméstico y para la fauna silvestre.



## 8. LITERATURA CITADA

- Agren GI. 1985. Theory for growth of plants derived from the nitrogen productivity concept. *Physiologia. Plantarum* 64: 17-28.
- Agren GI, Ingestad T. 1987. Root:shoot ratio as a balance between nitrogen productivity and photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*. 10: 579-586.
- Aguirre VE, Huss D. 1987. Fundamentos de manejo de pastizales. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Departamento de Zootecnia, pp. 132-139.
- Alanís FGJ, Cano CG, Rovalo MM. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León, una guía botánica-ecológica. Impresora Monterrey, S.A. de C.V. Monterrey N.L., México, pp. 251.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Arguello RA, Benavides JE, Esnaola MA. 1991. Evaluación de las ganancias de peso y consumo de alimentos de cabritos recibiendo distintos follajes de árboles, suplementados con banana verde de desecho. In: Resumen de Investigaciones Realizadas con Rumiantes Menores, Cabras y Ovejas, en Proyecto de Sistemas de Producción Animal, CATIE. Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No 67, pp. 28-32.

- Arthun D, Rafique S, Holechek JL, Wallace JD, Galyean ML. 1992. Effects of forbs and shrub diets on ruminant nitrogen balance II. Cattle studies. Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science 39: 204.
- Arthur RT, Durant ME, Freeman DC. 1987. Variations in physiological metabolites and chlorophyll in sexual phenotypes of rincon fourwing saltbush. Journal of Range Management 40: 151-155.
- Ash AJ. 1990. The effects of supplementation with leaves from the leguminous trees *Sesbainia grandiflora*, *Albizia chinensis* and *Gliricida sepium* on the intake and digestibility of Guinea grass by goats. Animal Feed Science and Technology 28: 225-232.
- Avila CJM. 1984. Sustitución de zacate estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) por guácima (*Guazuma ulmifolia*) en la alimentación de borregos pelibuey. Tesis Ing. Agrónomo, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Ávila CJM, Ortega JAS, Flores MA. 1992. Efecto de la escarificación con agua en la germinación de semillas de *Desmanthus virgatus*. Reunión Nac. de Invest. Pec. en México. INIFAP-UNAM-UACH. Chih., México, pp 26.
- Bailey DW, Gross JE, Laca EA, Rittenhouse LR, Coughenour MB, Swift DM, Sims PL. 1996. Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. Journal Range Management 49: 386-400.
- Barker D, Seaton G, Robinson S. 1997. Internal and external photoprotection in developing leaves of the CAM plant *Cotyledon orbiculata*. Plant Cell and Environment 20, 617-624.
- Barnes TG, Blankenship LH, Varner LW, Gallagher JF. 1991. White-tailed deer feeding forage from shrubs. Journal of Range Management 44: 606-610.

- Barnes TG, Varner LW, Blankenship LH, Fillinger TJ, Heineman SC. 1990. Macro and trace mineral content of selected south Texas deer forages. *Journal of Range Management* 43: 220-223.
- Barry TN, Duncan SJ. 1984. The role of tannins on the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep: I Voluntary intake. *British Journal of Nutrition* 51: 485-491.
- Barry TN, Manley TR. 1984. The role of condensed tannins in nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep: II. Quantitative digestion of carbohydrate and protein. *British Journal of Nutrition* 55: 123-127.
- Bauernfeind JC. 1981. Carotenoids as colorants and vitamin A precursors. Academic Press, New York, pp. 319 - 441.
- Bellot J, Maestre F, Hernández N, 2004. Spatio-temporal dynamics of chlorophyll fluorescence in a semi-arid Mediterranean shrubland. *Journal of Arid Environments* 58: 295-308.
- Benavides JE. 1986. Resumen de investigaciones realizadas con rumiantes menores, cabras y ovejas en el proyecto de sistemas de producción animal CATIE, Turrialba, Costa Rica, Serie Técnica. Informe Técnico No 7 pp. 40-42.
- Berendse F, Aerts R. 1987. Nitrogen-use-efficiency: a biologically meaningful definition? *Functional Ecology* 1: 293-296.
- Blair GJ. 1990. The diversity and potential value of shrubs and tree fodder. In: *Shrubs and Tree Fodders for Farm Animals*. Devendra C. (ed). Proceedings of a Workshop in Denpasar, Indonesia, International Development Research Center (IDRC) 276e, Ottawa, Canada pp. 2-11.

- Boutouba A, Holechek JL, Galyean ML, Nuñez-Hernandez G, Wallace JD, Cardenas M. 1990. Influence of two native shrubs on goats nitrogen status. *Journal of Range Management* 43: 530-534.
- Boyer J. 1971. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf potential. *Plant Physiology* 47: 816-820.
- Britton G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *FASEB Journal* 9: 1551-1558.
- Burghardt M, Burghardt A, Gall J, Rosenberger C, Riederer M. 2008. Ecophysiological adaptations of water relations of *Teucrium chamaedrys* L. to the hot and dry climate of xeric limestone sites in Franconia (Southern Germany). *Flora* 203: 3-13.
- Carter GA, Knapp AK. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany* 88: 677-684.
- Carter GA, Spiering BA. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *Journal of Environmental Quality* 31: 1424–1432.
- Castrillo M, Vizcaino D, Moreno E, Latorraca Z. 2001. Chlorophyll content in some cultivated and wild species of the family Lamiaceae. *Biologia Plantarum* 44: 423–425.
- Coppock DL, Reed JD. 1992. Cultivated and native browse legumes as calf supplements in Ethiopia. *Journal of Range Management* 45: 231-238.
- Corah L. 1996. Trace mineral requirements of grazing cattle. *Animal Feed Science and Technology* 59: 61-67.

- COTECOCA. 1969. Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana: Estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Zacatecas, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León Durango y San Luís Potosí. SAG, México, D.F.
- COTECOCA-SARH. 1973. Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana, Estado de Nuevo León. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Comisión Técnico Consultiva para la determinación de Coeficientes de Agostadero. México.
- De Datta, S. 1986. Producción de Arroz. Fundamentos y Prácticas. Editorial Limusa, México.
- Demment MW, Van Soest DJA. 1985. nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and nonruminant herbivores. *American Naturalist* 125: 641-672.
- Demming-Adams B, Adams III WW. 1996. The role of xanthophylls cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science* 1: 21-26.
- Devendra C. 1994. Browse as a sustentable feed resource for small ruminants. *Proceedings of VII World Conference on Animal Production*. Edmonton, Alberta, Canada pp. 119-136.
- Dick BL, Urness DJ. 1991. Nutritional value of fresh gambel oak browse for Spanish goats. *Journal of Range Management* 44: 361-364.
- Elfving DC, Kaufmann MR, Hall AE. 1972. Interpreting leaf water potential measurements with a model of the soil-plant-atmosphere continuum. *Plant Physiology* 27: 161-168.
- Engin M, Sprent JI. 1973. Effect of water stress on growth and nitrogen-fixing activity of *Trifolium repens*. *New Phytologist* 72: 117-126.

- Escudero A, Mediavilla S. 2003. Dinámica interna de los nutrientes. Ecosistemas. Disponible en el sitio de red: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion7.htm> [Revisado enero del 2003].
- Esnaola MA, Ríos C. 1986. Hojas de poro (*Erythrina poeppigiana*) *ad libitum*. Suplemento con diferentes fuentes de energía. En: Resumen de las Investigaciones Realizadas con Rumiantes Menores, Cabras y Ovejas, en el Proyecto de Sistemas de Producción Animal. CATIE, Turrialba Costa Rica. Informe Técnico. No 67, pp. 60-69.
- Espinoza BR, Navar J. 2005. Producción de biomasa, diversidad y ecología de especies en un gradiente de productividad en el matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 11: 25-31.
- Everitt JH, González CL. 1981. Seasonal nutrient content in food plants of white-tailed deer on the South Texas Plains. Journal of Range Management 34: 506-510.
- Fukshansky L. 1981. Optical properties of plant tissue, plants and the daylight spectrum, Smith H. (ed). Berlin: Springer-Verlag, pp. 253-303.
- Fulbright TE, Reynolds JP, Beasom SL, Demarais S. 1991. Mineral content of guajillo regrowth following roller chopping. Journal of Range Management 44: 520-522.
- Gamon JA, Surfus JS, 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. New Phytologist 143: 105-117.
- Ganskopp D, Bohnert D. 2003. Mineral concentration dynamics among 7 northern Great Basin grasses. Journal Range Management. 56: 174-184.

- Garnier E, Aronson J. 1998. Nitrogen-use efficiency from leaf to stand level: clarifying the concept. En Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences, Lambers H, Poorter H, Van Vuuren, M.M.I. (eds). Backhuys Publishers, Leyden pp. 515-538.
- Gitelson A, Merzlyak M, Zur Y, Stark R, Gritz U. 2001. Non-destructive and remote sensing techniques for estimation of vegetation status. Proceedings, Third European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France, Grenier G, Blackmore S (eds). 1: 205-210.
- González PMA, Ortega SJA. 1986. Evaluación de métodos de siembra para el establecimiento de leucaena (*Leucaena leucocephala*) en el sur de Tamaulipas. Técnica Pecuaria en México 52: 122-124.
- González VEA, Hussey MA, Ortega SJA. 1994. Establishment of Illinois bundleflower and prostrate bundleflower in association with kleingrass. Agron. Abstracts. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. p 166.
- González VEA, Hussey MA, Ortega SJA. 1995. Forage production and quality of kleingrass-Desmanthus associations during the establishment year. Agron. Abstracts. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. P. 166.
- González VEA. 1996. Establishment of Illinois and prostrate bundleflower in association with kleingrass. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University, College Station, TX.
- González RH, Cantú SI, Gómez MMV, Jordan WR. 2000. Seasonal plant water relationships in *Acacia berlandieri*. Arid Soil Research and Rehabilitation 14: 343–357.

- González RH, Cantú SI, 2001. Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL* IV: 454-461.
- González RH, Cantú SI, Gómez MMV, Ramírez LRG. 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. *Journal of Arid Environment* 58: 483–503.
- Goodwin TW, Mercer EI. 1988. *Introduction to plant Biochemistry*. 2nd ed. Pergamon Press. Oxford, UK p. 677.
- Greene LW, Pinchak WE, Heitschmidt RK. 1987. Seasonal dynamics of minerals in forages at the Texas experimental ranch. *Journal of Range Management* 40: 502-506.
- Grings EE, Haferkamp MR, Heinschmidt RK, Karl MG. 1996. Mineral dynamics in forages of the northern Great Plains. *Journal of Range Manegement* 49: 234-240.
- Guenni O, Marín D, Baruch Z. 2002. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant and Soil* 243: 229-241.
- Guenni O, Gil JL, Baruch Z, Márquez L, Núñez C. 2006. Respuestas al déficit hídrico en especies forrajeras de *Brachiaria* (Trin.) Griseb. (Poaceae). *Interciencia* 31: 505-511.
- Guevara S, Meave J, Moreno-Casola P, Laborde J, Castillo S. 1994. Vegetación y flora de potreros en la sierra de los Tuxtlas, México. *Acta Botánica Mexicana* 28: 1-27.
- Gutteridge RC, Shelton MH. 1994. The role of forage tree legumes in cropping and grazing systems. In: *Forage tree legumes in tropical agriculture*. CAB International. Wallingford, UK. pp 3-11.



- Haenlein GFW, Ramírez RG. 2007. Potential mineral deficiencies on arid rangelands for small ruminants with special reference to Mexico. *Small Ruminant Research* 68: 35-41.
- Hanley TA. 1982. The nutritional basis for food selection by ungulates. *Journal of Range Management* 35: 146-151.
- Heiseke D, Foroughbakhch R. 1985: El matorral como recurso forestal. Reporte Científico No. 1, Facultad de Silvicultura y Manejo de Rec. Renovables, Linares, N.L., México, pp 1-31.
- Hoffman RR. 1987. Role of shrubs and trees as a feed for animals. In "Aspects of Digestive Physiology in Ruminants" A. Dobson editor, Cornell University Press, New York. pp.1-26.
- Holechek JL, Munshikpu AV, Saiwana L, Nuñez-Hernandez G, Valdez R, Wallace JD, Cardenas M. 1990. Influences of six shrubs diets varying in phenol content on intake and nitrogen retention by goats. *Tropical Grassland* 24: 91-98.
- Holecheck JL, Piper RD, Herbel CH. 1989. *Range Management Principles and Practices*. Prentice Hall Publ. Co., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Honorato PR. 2000. *Manual de edafología*. 4ª. Ed. Alfaomega. México, D.F., pp. 267. (<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/>). [ Internet ]. [Revisado el 17 de junio 2008].
- Hughes NM, Morley CB, Smith WK. 2007. Coordination of anthocyanin decline and photosynthetic maturation in juvenile leaves of three deciduous tree species. *New Phytologist*, 175: 675-685.

- Huston JE, Rector BS, Merrill LB, Engdall BS. 1981. Nutritive value of range plants in the Edwards Plateau region of Texas, Texas. Agric. Exp. Sta. Bull. (1357), pp. 16-19.
- Ibarra FA, Martín MH, Miranda H, Luna JL. 1998. Seeding of Forage Brush Species for the Restoration of Deteriorated Rangelands in the Sonoran Desert. Society for Range Management Meeting. Guadalajara Jalisco, México, p.63.
- Ivory DA. 1990. Major characteristics and nutritional value of shrubs and tree fodders. In: Shrubs and Tree Fooders for Farm Animals, Devendra C. (ed). Proceedings of a Workshop in Denpasar, Indonesia, IDRC 276e Ottawa, Canada, pp. 22-38
- Jacquemoud S, Ustin S. 2001. Leaf optical properties: a state of the art. Proc. 8th Int. Symp. "Physical measurements and signatures in remote sensing" (Aussois, France, Jan. 8-12, 2001). CNES, pp. 223-232.
- Jones DIH, Wilson AD. 1987. Use of browse plants in sheep nutrition. In: the Nutrition of Herbivores, Hacker JB, Ternouth JH (eds). Academic Press, New York, pp 65-89.
- Kannan D, Paliwal K. 1992. Dry matter production, chlorophyll, protein contents and foliar nutrient concentration in *Peltophorum ferrugineum* and *Albizia lebbeck* under nursery conditions. Forest Ecology and Management 50: 265-273.
- Katerji N, Itier B, Ferreira I. 1988. Etude de quelques critères indicateurs de l'état hydrique d'une culture de tomate en région semi-aride. Agronomie 8: 425-433.
- Kessler J. 1991. Mineral nutrition of goats. In: P. Morand-Feher (Ed.), Goat Nutrition, Vol. 46 EAAP Publication, pp. 104-119.
- Kramer PJ. 1983. Water relations of plants. Academic Press, Inc. San Diego, CA p. 489.

- Kribia SS, Nahar TN, Mia MM. 1994. Tree leaves as alternative feed resources for Black Bengal goats under stall-fed conditions. *Small Ruminant Research* 13: 217-222.
- Kumar R, Vaithyanathan S. 1990. Occurrence, nutrition, significance and effect on animal productivity of tannins in tree leaves. *Animal Feed Science and Technology* 30: 21-38.
- Kyparissis A, Petropoulou Y, Manetas Y. 1995. Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa* L., Labiatae) under Mediterranean field conditions,: avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. *Journal of Experimental Botany* 46: 1825-1831.
- Kyparissis A, Drilias P, Manetas Y. 2000. Seasonal fluctuations in photoprotective (xanthophylls cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms. *Functional Australian Journal of Plant Physiology* 27: 265-272.
- Lemaire G, Jeuffroy MH, Gastal F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy* 28: 614-624.
- Lichtenthaler HK, Wellburn AR. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591-592.
- Lisiewska Z, Kmiecik W, Korus A. 2006. Content of vitamin C, carotenoids, chlorophylls and polyphenols in green parts of dill (*Anethum graveolens* L.) depending on plant height. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 134-140.

- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Matteucci S. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Universidad Nacional Francisco de Miranda. Estado de Falcon, Caracas.
- Matteucci SD, Colma A, Pla L. 1999. Biodiversidad vegetal en el árido falconiano (Venezuela). *Interciencia* 24: 300-307.
- Maynard LA, Losli JK, Hintz HF, Warner RG. 1981. Nutrición animal. 7ª. Ed., McGraw Hill, USA, pp 299.
- McDowell LR. 1996. Feeding mineral to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology* 60: 247-253.
- McMurtry CR, Barnes PW, Nelson JA, Archer SR. 1996. Physiological responses of woody vegetation to irrigation in a Texas subtropical savanna, La Copita Research Area: 1996 Consolidated Progress Report. Texas Agricultural Experiment Station-Corpus Christi, Texas A&M University System, College Station, TX, pp. 33-37.
- McNaughton SJ. 1998. Mineral nutrition and spatial concentrations of African ungulates. *Nature* 334: 343-345.
- Merzlyak M, Gitelson A, Chivkunova O, Solovchenco A, Pogosyan S. 2003. Application of reflectance spectroscopy for analysis of higher plant pigments. *Russian Journal of Plant Physiology* 50: 704-710. Translated from *Fiziologiya Rastenii*, 50: 785-792.
- Migahid MA, Elhaak MA. 2001. Ecophysiological studies on some desert plant species native to the Mediterranean area in Egypt. *Journal of Arid Environments* 48:191-203.

- Monson RK, Smith SD. 1982. Seasonal water potential components of Sonoran Desert plants. *Ecology* 63: 113-123.
- Morand-Fehr P, Giger S, Sanvant D, Broqua B, Desimiane M. 1987. Les Forrages Secs. Récolte, traitement, utilization, (Ed. Derrarquilly.C.), pp. 391-422. INRA Publ., Paris France.
- Moreno CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, pp 84.
- Morici E, Muiño W, Ernst R, Poey S. 2006. Efecto de la distancia a la aguada sobre la estructura del estrato herbáceo en matorrales de *Larrea* sp. pastoreados por bovinos en zonas áridas de Argentina. *Archivos de Zootecnia* 55: 149-159.
- Morilla CA, Boyer JS, Hageman RH. 1973. Nitrate reductase activity and polyribosomal content of corn (*Zea mays* L.) having low leaf water potentials. *Plant Physiology* 51: 817–824.
- Moya RJG. 2002. Variación estacional del perfil nutritivo y digestibilidad in situ de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro, del follaje de ocho especies arbustivas del noreste de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. UANL. pp. 128
- Moya RJG, Ramírez LRG, Foroughbakhch PR, Háuad ML, González RH. 2002. Variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas. *Ciencia UANL*, V: 59-65.
- Muraoka T, Tzi EA. 2000. Mejoramiento del uso del agua en la agricultura; el papel de la técnicas nucleares. Piracicaba, CENA, Brasil, pp 131.

- Nahed J, Perez-Gil F, Grande D, Sangines L. 1998. Evaluation of promissory tree species for sheep feeding in the highlands of Chiapas Mexico. *Animal Feed Science and Technology*. 73: 59-69
- Nastis AS, Malechek JC. 1981. Digestion and utilization of nutrients in oak browse by goats. *Journal Animal Science* 53: 283-289.
- Newton RJ, Funkhouser EA, Fong F, Tauer CG. 1991. Molecular and physiological genetics of drought tolerance in forest species. *Forest Ecology and Management* 43: 225-250.
- Newton RJ, Goodin JR. 1989. Moisture stress adaptation in shrubs. In: McKell, C.M. (Ed.), *The Biology and Utilization of Shrubs*. Academic Press Inc. San Diego, CA pp. 365-383.
- Niinemets Ü. 1997. Role of foliar nitrogen in light harvesting and shade tolerance of four temperate deciduous woody species. *Functional Ecology* 11: 518–531.
- Nortes PA, Pérez-Pastor A, Egea G, Conejero W, Domingo R. 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potencial values for detecting water stress in young almond trees. *Agricultural Water Management* 77: 296-307.
- Northup BK, Zitzer SF, Archer SR, Boutton TW. 1996. A technique to allocate biomass of woody plants, La Copita Research Area: 1996 Consolidated progress report. Texas Agricultural Experiment Station – Corpus Christi, Texas A&M University System, College Station, TX, pp. 47-50.
- Northup BK, Zitzer SF, Archer SR, McMurtry CR, Boutton TW. 2005. Above-ground biomass and carbon and nitrogen content of woody species in a subtropical thornscrub parkland. *Journal of Arid Environment* 62: 23-43.

- Norton BW, Poppi DP. 1995. Composition and nutritional attributes of pasture legumes. In: D'Mello JPF, Devendra C. (eds). Tropical Legumes in Animal Nutrition. AB. International, Wallingford, pp 23-48.
- NRC. (National Research Council). 1984. Nutrients requirements of beef cattle 6th revised ed. National Academy Press, Washington. D.C. USA, pp 57.
- NRC. (National Research Council). 1996. Nutrients requirements of beef cattle (7th Ed). National Academy Press, Washington. D.C.
- NRC. (National Research Council). 1981. Nutrient Requeriments of Goats: Angora, Dairy and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Academy Press. Washington, DC, pp 23.
- Nunes C, De Sousa AS, Marques da SJ, Salema FMP, Bernardes da SA. 2008. Physiological responses of the legume model *Medicago truncatula* cv. Jemalong to water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 63: 289-296.
- Nuñez-Hernandez G, Holechek JL, Wallace JD, Galyean ML, Tembo A, Valdez R, Cardenas M. 1989. Influence of native shrubs on nutritional status of goats: nitrogen retention. *Journal of Range Management* 42: 228-232.
- Oliveira G, Peñuelas J. 2001. Allocation of absorbed light energy into photochemistry and dissipation in a semi-deciduous and evergreen Mediterranean woody species during winter. *Australian Journal of Plant Physiology* 28: 471-480.
- Ortega SJA, González VEA, Avila JMC, Guarneros AR. 1996. Manejo y utilización de *Desmanthus* para la alimentación de bovinos. XIV Día del Ganadero. INIFAP-CEAL- SAGAR. Public. Esp. No 3. Aldama, Tamps., México, pp. 15-18.

- Ortuño MF, Alarcón JJ, Nicolás E, Torrecillas A. 2005. Sap flow and trunk diameter fluctuations of young lemon trees under water stress and rewatering. *Environmental and Experimental Botany* 54: 155-162.
- Ottander C, Campbell D, Öquist G. 1995. Seasonal changes in photosystem II organisation and pigment composition in *Pinus sylvestris*. *Planta* 197: 176-183.
- Papachristou TG, Nastis AS. 1996. Influence of deciduous broadleaved woody species in goat nutrition during the dry season in northern Greece. *Small Ruminant Research* 20: 15-21
- Parra QRA, Becerril RAE, López CC. 2002. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano 'Golden Delicious' injertado sobre portainjertos clonales. *Terra* 20: 113-121.
- Pérez RMA. 1997. Valor Nutricional foliar de tres especies de *Acacia*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, N.L., pp. 97.
- Pirela MF, Clavero T, Fernández L, Sandoval L. 2005. Balance del nitrógeno en el sistema suelo-planta con pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq) en condiciones de bosque seco tropical. Artículo 9. pp. 13. Disponible en el sitio de red: [http://www.SciELO/serial/fagro/v23n1/body/art\\_08.htm](http://www.SciELO/serial/fagro/v23n1/body/art_08.htm). [Revisado el 20 de junio de 2008].
- Rafique S, Wallace JD, Holechek JL, Galyean ML, Arthur DP. 1992. Effects of forb and shrub diets on ruminant nitrogen balance and sheep studies. *Small Ruminant Research* 45: 113-122.
- Rai SN, Harika AS. 1992. Recent Advances in Goat Production. V International Conference on Goats Productions. New Delhi, India. pp. 757-760.



- Ramírez, G, Saucedo JD, Narro JA, Aranda J. 1993. Preferences indices for forage species grazed by Spanish goats on a semiarid shrubland in México. *Journal of Applied Animal Research* 3: 55-66.
- Ramírez, G, Alonso DS, Hernández G, Ramírez B. 1995b. Nutrient Intake of Range Sheep on a Buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) Pasture. *Small Ruminant Research* 17: 136-143.
- Ramírez, G, Mireles E, Huerta JM, Aranda J. 1995a. Forage selection by range sheep on a buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) pasture. *Small Ruminant Research* 17: 129-135.
- Ramírez, G. 1996. Feed value of browse. VI International Conference on Goats. Beijing, China. International Academic Publisher. pp. 510-517.
- Ramírez RG, Ledezma-Torres RA. 1997. Forage utilization from native shrubs *Acacia rigidula* and *Acacia farnesiana* by goats and sheep. *Small Ruminant Research* 25: 43-50.
- Ramírez, G, Quintanilla JB, Aranda J. 1997. White-tailed deer food habits in northeastern México. *Small Ruminant Research* 25: 141-146.
- Ramírez, G, Lara J.A. 1998. Influence of native shrubs *Acacia rigidula*, *Cercidium macrum* and *Acacia farnesiana* on digestibility and nitrogen utilization by sheep. *Small Ruminant Research* 28: 39-45.
- Ramírez, G. 1999. Feed resources and feeding techniques of small ruminants under extensive management conditions. *Small Ruminant Research* 34: 215-230.
- Ramírez, G, Haenlein GFW, Nuñez-Gonzalez MA. 2001. Seasonal variation of macro and trace mineral contents in 14 browse species that grow in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research* 39: 153-159.

- Ramírez-Orduña R. 2003. Dinámica estacional del valor nutritivo y digestión ruminal del forraje de 10 arbustivas de Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Biológicas. UANL. San Nicolás de los Garza, N. L. pp. 1-199.
- Ramírez-Orduña R, Ramírez RG, González-Rodríguez H, Haenlein GFW. 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, México. *Small Ruminant Research* 57: 1-10.
- Reed JD, Woodward A. 1990. Fodder tree and straw diets for sheep intake, growth, digestibility and the effects of phenolics on nitrogen utilization. *Animal Feed Science and Technology* 30: 39-50.
- Reid N, Marroquín J, Beyer-Münzel P. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 36: 61-79.
- Ritchie GA, Hinckley TM. 1975. The pressure chambers as an instrument for ecological research. *Advances in Ecological Research* 9: 165-224.
- Rodríguez AD. 1989. Critical review of provitamin A determination in plant foods. *Journal of Micronutrient Analysis, Barking*, 5: 191-225.
- Rodríguez WE, Murillo B, Velez M. 1992a. Recent Advances in Goats Production. V International Conference on Goats, New Delhi, India. pp. 765-772.
- Rodríguez WE, Velez M, Esnaola. 1992b. Recent Advances in Goats Production. V International Conference on Goats, New Delhi, India, pp. 765-772.
- Sala OE, Oesterheld M, Leon RJC, Soriano A. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio* 67: 27-32.

- Salisbury FB, Ross SW. 1994a. Nutrición mineral. In: Philip, N.G. (Ed.) Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, México, DF, pp. 127-141.
- Salisbury FB, Ross SW. 1994b. Absorción de sales minerales. In: Philip, N.G. (Ed) Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, México, DF, pp. 149-175.
- Samur C. 1984. Producción de leche de cabras alimentadas con king-grass (*Pennisetium purpureum* x *P. Typhoides*) y poró (*Erythrina poeppigiana*) suplementadas con fruto de banana (*Musa* sp. cv “carendish”), M.Sc. Thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 108.
- Sánchez AR, Carrete CF, Eguiarte VJA. 1986. Crecimiento de becerras F1 cebú/europeo en pastoreo de zacate estrella-leucaena y estrella solo en clima Aw. Técnica Pecuaria en México 50: 69-82.
- Schlerf M, Atzberger C, Udelhoven T, Jarmer T, Mader S, Werner W, Hill J. 2003. Spectrometric estimation of leaf pigments in Norway spruce needles using band-depth analysis, partial least-square regression and inversion of a conifer leaf model. Presented at the 3rd. EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching, pp13-16.
- Sidhamed AD, Morris JG, Koong LJ, Radoservich SR. 1981. Contribution of mixtures of tree chaparral shrubs to the protein and energy requirements of Spanish goats. Journal Animal Science 53: 1391-1400.
- Sierra JS, Saucedo R, Prado OL. 1987. Transplante de Chamizo en Matorrales de Gobernadora. Reunión de Investigación Pecuaria en México. SARH-UNAM. México, D.F. p. 192.
- Simon PW. 1997. Plant Pigments for Color and Nutrition. HortScience 32: 12-13.

- Simpson KL, Tsou SCS. 1986. Vitamin A and provitamin A composition of foods. In: Bauernfeind JC (ed). Vitamin A deficiency and its control, New York, Academic Press. pp. 461-78.
- Sims DA, Gamon JA. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structure and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*. 81: 337–354.
- Soltero S, Fierro LC. 1980. Contenido y Fluctuación de Nutrientes del Chamizo (*Atriplex canescens*) Durante el Periodo de Sequía, en un Matorral Micrófilo de *Atriplex-Prosopis*. Bol. Pastizales. Vol. XI No. 6. Chih. Méx. pp. 2-7.
- Soerensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity in species content. *Kgl danske Vidensk, Selsk*. 5.
- Spears JW. 1994. Minerals in forages. In: Fahey Jr. GC. (Editor). National Conference on Forage Quality, Evaluation and Utilization. University of Nebraska, Lincoln, N.E., pp. 281-317.
- SPP-INEGI, 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática. México, D.F.
- SPSS, 2000. Statistical Package for the Social Sciences. Standard released version 9.0 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA.
- Steel RGD, Torrie JH. 1980. Principles and procedures of statistics. A Biometrical Approach, 2nd Ed. McGraw-Hill, New York, NY, pp. 632.
- Tefera S, Dlamini BJ, Dlamini AM. 2008. Dynamics of Savannas in Swaziland: Encroachment of woody plants in relation to land use and soil classes and indigenous knowledge on plants utilization. *Research Journal Botany* 3: 49-64.

- Tiedemann A, Mcarthur E, Freeman D. 1987. Variation in physiological metabolites and chlorophyll in sexual phenotypes of 'rincon' fourwing saltbush. *Journal of Range Management* 40: 151-155.
- Turner MD. 1999. Spatial and temporal scaling of grazing impact on the species composition and productivity of Sahelian annual grasslands. *Journal Arid Environment* 41: 277-297.
- Underwood EJ. 1981. Mineral Nutrition of Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, London, pp. 107-109.
- Urdaneta T, Araujo FJ, Lugo L. 2003. A comparative study on two methodologies for determining water potencial in guava trees (*Psidium guajava* L.) on the Maracaibo Plain. *Revista de la Facultad de Agronomía* 20: 1-9.
- Uvalle SJI, González RH, Ramírez LRG, Cantú SI, Gómez MMV. 2008. Seasonal trends of chlorophylls a and b and carotenoids in native trees and shrubs of Northeastern Mexico. *Journal Biology Science* 8: 258-267.
- Valladares F, Martinez-Ferri E, Balaguer L, Perez-Corona E, Manrique E. 2000. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy. *New Phytologist* 148: 79-91.
- Vamerali T, Saccomani M, Bona S, Mosca G, Guarise M, Ganis A. 2003. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. *Plant and Soil*, 255: 157-167.
- Van Soest PJ, Conklin NL, Horvath PJ. 1986. Tannins in food and feeds. In: *Proceedings. Cornell University, Ithaca, N.Y.*, pp. 115-122.
- Villalón HM. 1989. Ein Beitrag zur Verwertung von Biomasseproduktion und deren Qualität für die forst- und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der

- Gemeinde Linares, N.L., Mexiko. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen 39., 165 S.
- Villarreal GJG. 1986. Administración de un rancho cinegético de venado cola blanca texano (*Odocoileus virginianus texanus*) en el noreste de México. Memorias del I Simposio sobre el venado en México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Villarreal GJG. 1999. Venado Cola Blanca “Manejo y Aprovechamiento Cinegético”; Unión Ganadera Regional de Nuevo León, pp. 81-125.
- Young A, Britton G. 1993. Carotenoid in photosynthesis, 1st ed. Chapman and Hall, London, pp. 498.
- Younis ME, El-Shahaby OA, Hasaneen MNA, Gaber AM. 1993. Plant growth, metabolism and adaptation in relation to stress conditions: XVII. Influence of different water treatments on stomatal apparatus, pigments and photosynthetic capacity in *Vicia faba*. Journal of Arid Environment 25: 221-232.
- Zhao D, Reddy KR, Kakani VG, Reddy VR. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. European Journal of Agronomy 22: 391-403.
- Zitzer SF, Archer SR, Boutton TW. 1996. Spatial variability in the potential for symbiotic N<sub>2</sub> fixation by woody plants in a subtropical savanna ecosystem. Journal of Applied Ecology 33: 1125-1136.